

Nikola Tesla

**Über Licht- und andere Erscheinungen
hoher Frequenz.**

*Vortrag, gehalten vor dem Franklin Institute, Philadelphia, im
Februar 1893 und vor der National Electric Light
Association, St. Louis, im März. 1893.*

Sternthaler

NIKOLA TESLA

ÜBER LICHT- UND ANDERE ERSCHEINUNGEN HOHER FREQUENZ

BEITRÄGE ZUR NIKOLA-TESLA-FORSCHUNG

Band 4

Nikola Tesla

Über Licht- und andere Erscheinungen hoher Frequenz.



STERNTHALER-VERLAG BASEL

MCMXCVII

Nikola Tesla

Über Licht- und andere Erscheinungen hoher Frequenz.

Vortrag, gehalten vor dem Franklin Institute, Philadelphia, im Februar 1893 und vor der National Electric Light Association, St. Louis, im März 1893.

nach der deutschen Erstausgabe von H. Maser
neu herausgegeben und bearbeitet von Daniel Fedeli.

mit 34 Abbildungen im Text



STERNTHALER-VERLAG BASEL

MCMXCVII

Das vorliegende Bändchen enthält die dritte der drei großen Wechselstrom-Vorleseungen, welche Tesla in den Jahren 1891-1893 hielt.

Dieser Vortrag wurde erstmals in dem von Thomas Commerford Martin herausgegebenen Band „The Inventions, Researches & Writings of Nikola Tesla. New York, 1894.“ veröffentlicht. Die deutsche Ausgabe von H. Maser erschien 1895 in Halle a. S. unter dem Titel „Nikola Tesla's Untersuchungen über Mehrphasenströme und über Wechselströme hoher Spannung und Frequenz. Mit besonderer Berücksichtigung seiner Arbeiten auf den Gebieten der Mehrphasenstrommotoren und der Hochspannungsbeleuchtung.“

Die vorliegende Ausgabe ist ein ungekürzter Nachdruck des in der Maser'schen Ausgabe enthaltenen Vortrages. Die Rechtschreibung wurde leicht modernisiert und die Abbildungen überarbeitet.

Erste Auflage 1997.

Alle Rechte dieser Ausgabe vorbehalten. Vervielfältigung verboten.

Schutzformel für die U.S.A.:
Copyright © 1997 by Sternthaler-Verlag, D. Fedeli, Basel.

Druck: Dreispitz-Druck, Basel

In der Schweiz gedruckt / Imprimé en Suisse

ISBN 3-908245-14-1

Einleitung. — Einige Betrachtungen über das Auge.

WENN WIR DIE WELT UM UNS HER, DIE NATUR, BETRACHTEN, SIND WIR überwältigt von ihrer Schönheit und Größe. Jedes Ding, welches wir wahrnehmen, mag es auch verschwindend klein sein, ist eine Welt für sich d. h. gleich dem ganzen Universum eine nach Gesetzen regierte Materie und Kraft — eine Welt, deren Betrachtung uns mit dem Gefühl der Bewunderung erfüllt und uns unwiderstehlich zu immerwährendem Nachdenken und Forschen anregt. Aber in dieser ganzen weiten Welt erscheint uns zweifellos von allen Gegenständen, die unsere Sinne uns offenbaren, als der wunderbarste und unsere Phantasie am meisten herausfordernde ein hoch entwickelter Organismus, ein denkendes Wesen. Wenn irgend etwas geeignet ist, uns zur Bewunderung der Werke der Natur hinzureißen, so ist es sicher dieses unbegreifliche Gefüge, welches seine unzähligen Bewegungen äußerem Einflusse gehorsam vollzieht. Das Getriebe desselben zu verstehen, eine tiefere Einsicht in dieses Meisterstück der Natur zu erhalten, war von jeher für die Denker ein reizvolles Ziel und nach vielen Jahrhunderten mühsamer Forschung gelangte der Mensch auch zu einer ziemlichen Erkenntnis der Funktionen seiner Organe und Sinne. In der ganzen vollkommenen Harmonie seiner Teile, der Teile, welche das Materielle oder Greifbare unseres Seins bilden, von allen seinen Organen und Sinnen ist wiederum das Auge das wundervollste. Es ist das kostbarste, das unentbehrlichste von unseren wahrnehmenden oder leitenden Organen, es ist die große Pforte, durch welche dem Geiste alle Erkenntnis kommt. Von allen unseren Organen ist es dasjenige, welches in der innigsten Beziehung zu dem steht, was wir Intellekt nennen. So innig ist diese Beziehung, daß man oft sagt, die ganze Seele spiegele sich in dem Auge.

Es kann als Tatsache, welche die Theorie der Wirkung des Auges in sich schließt, betrachtet werden, daß für jeden äußeren Eindruck, d. h. für jedes auf der Netzhaut hervorgerufene Bild, die Enden der Sehnerven, welchen die Übertragung des Eindruckes auf das Gehirn obliegt, unter einem besonderen elastischen Drucke oder in einem schwingenden Zustande sich befinden müssen. Es erscheint nun nicht unwahrscheinlich, daß, wenn durch die Macht der Vorstellung ein Bild hervorgerufen wird, eine deutliche, wenn auch noch so schwache Reflexwirkung auf gewisse Enden der Sehnerven und daher auf die

Netzhaut ausgeübt wird. Wird es jemals dem Menschen möglich werden, den Zustand der durch Vorstellungen oder Reflexwirkungen gestörten Netzhaut mit Hilfe optischer oder anderer Mittel von solcher Empfindlichkeit zu erforschen, daß man ein klares Bild dieses Zustandes zu irgend einer Zeit gewinnen könnte? Wäre dies möglich, so dürfte das Problem, Jemandes Gedanken mit Genauigkeit zu lesen, wie die Buchstaben eines aufgeschlagenen Buches, viel leichter zu lösen sein als viele in das Gebiet der positiven physikalischen Wissenschaft gehörige Probleme, an deren Lösung viele wenn nicht die Mehrzahl der Männer der Wissenschaft im Stillen glauben. *Helmholtz* hat gezeigt, daß der Hintergrund der Augen selbst leuchtend ist, und war im Stande, bei völliger Dunkelheit die Bewegung seines Armes durch das Licht seiner eigenen Augen zu sehen. Dies ist einer der bemerkenswertesten Versuche, von denen die Geschichte der Wissenschaft berichtet, und es dürften wahrscheinlich nur wenige Menschen denselben befriedigend wiederholen können, da es sehr wahrscheinlich ist, daß das Leuchten der Augen mit einer ungewöhnlichen Tätigkeit *des* Gehirns und großer Einbildungskraft verbunden ist. Es ist gewissermaßen ein Fluoreszieren der Gehirntätigkeit.

Eine andere auf diesen Gegenstand bezügliche Tatsache, die wahrscheinlich von vielen bemerkt worden ist, da von ihr im gewöhnlichen Leben oft gesprochen wird, die ich aber mich nicht entsinnen kann, je als positives Ergebnis der Beobachtung aufgezeichnet gefunden zu haben, ist die, daß zu Zeiten, wo dem Verstande ein plötzlicher Gedanke oder eine plötzliche Vorstellung kommt, eine deutliche und zuweilen schmerzhaft empfundene Lichtempfindung, die auch bei hellem Tageslicht wahrnehmbar ist, im Auge hervorgerufen wird.

Die Redensart ferner, daß die Seele sich im Auge spiegele, ist tief begründet und wir fühlen, daß sie eine große Wahrheit ausdrückt. Sie hat eine tiefe Bedeutung sogar für einen, der, wie ein Dichter oder Künstler, nur seiner angeborenen Neigung oder Liebe zur Natur folgend an ziellosem Nachdenken oder an der bloßen Betrachtung der Naturerscheinungen Gefallen findet, aber eine noch tiefere Bedeutung für einen, der im Geiste positiver wissenschaftlicher Forschung die Ursachen der Wirkungen festzustellen sucht. Es ist hauptsächlich der Naturforscher, der Physiker, für den das Auge der Gegenstand höchster Bewunderung ist.

Zwei das Auge betreffende Umstände müssen auf den Geist des Physikers einen besonderen Eindruck machen, trotzdem er vielleicht denken oder sagen mag, daß es ein unvollkommenes optisches Instrument ist, wobei er freilich vergißt, daß er gerade das Verständnis dessen, was vollkommen ist oder ihm zu sein scheint, durch dieses selbe Instrument gewonnen hat. Erstens ist das

Auge, so weit unsere positive Kenntnis reicht, das einzige Organ, welches direkt von jenem subtilen Medium, welches, nach der Lehre der Wissenschaft, den ganzen Raum erfüllt, affiziert wird; zweitens ist es das empfindlichste unserer Organe, unvergleichlich empfindlicher für äußere Eindrücke als irgend ein anderes.

Das Gehörorgan hat den Anprall ponderabler Körper zur Voraussetzung, das Geruchsorgan die Übertragung losgelöster materieller Teilchen und die Organe des Geschmackes und des Gefühls die direkte Berührung oder wenigstens irgend eine Vermittelung ponderabler Materie und dies gilt sogar von denjenigen Beispielen tierischer Organismen, bei welchen einige dieser Organe zu einem Grade von wahrhaft erstaunenswerter Vollkommenheit entwickelt sind. Unter diesen Umständen erscheint es wunderbar, daß das Gesichtsorgan allein fähig sein sollte, durch das gereizt zu werden, was alle unsere anderen Organe nicht zu entdecken vermögen, und das doch eine wesentliche Rolle bei allen Naturerscheinungen spielt, welches alle Energie überträgt und alle Bewegung und, was das schwierigste von allem ist, das Leben erhält, das aber auch Eigenschaften besitzt, daß selbst ein wissenschaftlich geschulter Verstand nicht im Stande ist, einen Unterschied zwischen ihm und allem, was Materie genannt wird, anzugeben. Wenn man nur dies allein betrachtet, sowie die Tatsache, daß das Auge infolge seiner wunderbaren Fähigkeit unseren sonst sehr engen Gesichtskreis weit über die Grenzen der kleinen Welt, welche wir unser eigen nennen, erweitert, so daß wir Myriaden von andern Welten, Sonnen und Sternen in den unendlichen Tiefen des Universums wahrnehmen, so wird es gerechtfertigt erscheinen, wenn wir behaupten, daß es ein Organ von einer höheren Ordnung ist. Seine Verrichtungen gehen über unsere Fassungskraft hinaus. Die Natur hat, soweit wir wissen, nichts wundervolleres geschaffen. Wir können durch Untersuchung seiner Verrichtungen und durch Vergleichung kaum eine schwache Vorstellung von seiner ungeheuren Kraft gewinnen. Wenn Ätherwellen den menschlichen Körper treffen, so erzeugen sie die Empfindungen der Wärme oder der Kälte, der Lust oder Unlust oder vielleicht noch andere Empfindungen, die wir nicht näher kennen, und einen gewissen Grad oder eine gewisse Stärke dieser Empfindungen, und da diese Grade unendlich an Zahl sind, unendlich viele verschiedene Empfindungen. Unser Gefühlssinn aber kann uns diese Unterschiede im Grade oder in der Intensität nicht offenbaren, wofern sie nicht sehr erheblich sind. Nun können wir uns leicht vorstellen, wie ein Organismus wie der menschliche in dem ewigen Entwicklungsprozeß oder, philosophischer gesprochen, in der Anpassung an die Natur, wenn er auf den Gebrauch z. B. allein des Gefühlssinns an-

gewissen wäre, diesen Sinn zu einem so hohen Grade von Empfindlichkeit oder Vollkommenheit entwickeln könnte, daß er fähig wäre, die kleinsten Temperaturunterschiede eines Körpers selbst in einiger Entfernung bis auf ein Hundertstel oder Tausendstel oder Millionstel eines Grades zu unterscheiden. Und doch würde diese offenbar unmögliche Leistung in keiner Weise vergleichbar sein mit derjenigen des Auges, welches im Stande ist, unzählige Eigentümlichkeiten des Körpers, sei es in der Form, der Farbe oder in anderer Beziehung in einem einzigen Augenblicke zu unterscheiden und nach dem Verstande zu übertragen. Diese Fähigkeit des Auges beruht auf zwei Dingen, nämlich der geradlinigen Fortpflanzung der Störung, durch welche es affiziert wird, und auf seiner Empfindlichkeit. Wenn man sagt, das Auge sei empfindlich, so sagt man damit fast nichts. Im Vergleich zu ihm sind alle andern Organe ungeheuer roh. Das Riechorgan, welches einen Hund auf die Spur eines Hirsches führt, das Tastorgan, welches ein Insekt bei seinen Wanderungen leitet, das Hörorgan, welches durch die geringsten Störungen der Luft beeinflusst wird, sind sicherlich empfindliche Organe, aber was sind die im Vergleich zum menschlichen Auge! Mit vollkommener Sicherheit spricht es an auf den schwächsten Widerhall, die leisesten Erregungen des Mediums; mit vollkommener Sicherheit bringt es uns Nachrichten aus andern unendlich weit entfernten Welten, aber in einer Sprache, die wir nicht immer zu verstehen vermögen. Und warum nicht? Weil wir in einem Medium leben, welches mit Luft und andern Gasen, mit Dämpfen und einer dichten Masse herumfliegender fester Partikelchen erfüllt ist. Diese spielen bei vielen Erscheinungen eine wichtige Rolle; sie verzehren die Energie der Schwingungen, bevor sie das Auge erreichen können; sie sind ferner die Träger der Keime der Zerstörung, sie gelangen in unsere Lungen und andere Organe, verstopfen die Kanäle und halten unmerklich doch unausbleiblich den Lebensstrom auf. Könnte man alle ponderable Materie in der Gesichtslinie des Teleskops beseitigen, es würde uns ungeahnte Wunder offenbaren. Auch das unbewaffnete Auge würde, glaube ich, fähig sein, im reinen Medium kleine Gegenstände in Entfernungen zu unterscheiden, die wahrscheinlich nach Hunderten oder vielleicht Tausenden von Meilen gemessen werden.

Es ist jedoch noch etwas anderes beim Auge, welches einen noch tieferen Eindruck auf uns macht, als die Eigenschaften, die wir bisher bemerkten, indem wir es vom Standpunkte des Physikers als ein rein optisches Instrument betrachteten, etwas, das mehr zu uns spricht, als seine wunderbare Fähigkeit, direkt und ohne Vermittelung grober Materie von den Schwingungen des Mediums erregt zu werden, und als seine unbegreifliche Empfindlichkeit und

Unterscheidungskraft. Es ist seine Bedeutung für die Vorgänge des Lebens. Welche Ansichten man auch immer über Natur und Leben haben mag, man muß erstaunen, wenn man sich zum ersten Mal in seinem Geiste die Wichtigkeit des Auges bei den physikalischen Vorgängen und den Geistesverrichtungen des menschlichen Organismus vergegenwärtigt. Und wie könnte es anders sein, wenn man sich vorstellt, daß das Auge das Mittel ist, durch welches das Menschengeschlecht alles Wissen, das es besitzt, erworben hat, daß es alle unsere Bewegungen, ja noch mehr, alle unsere Handlungen kontrolliert.

Es gibt keinen Weg, sich Kenntnisse zu erwerben, als durch das Auge. Was ist die Grundlage aller philosophischen Systeme der alten und neuen Zeit, ja der ganzen Philosophie des Menschen? *Ich bin, ich denke; ich denke, also bin ich.* Aber wie könnte ich denken und wie könnte ich wissen, daß ich existiere, wenn ich nicht das Auge hätte? Denn Wissen setzt Bewußtsein, Bewußtsein setzt Gedanken, Vorstellungen voraus; Vorstellungen haben Gemälde oder Bilder und Bilder den Gesichtssinn und daher das Sehorgan zur Voraussetzung. Aber wie steht es mit den Blinden, wird man fragen? Ja ein Blinder kann in herrlichen Gedichten Gestalten und Szenen aus dem wirklichen Leben schildern, von einer Welt sieht er im physikalischen Sinne nichts. Ein Blinder kann die Tasten eines Instrumentes mit unfehlbarer Sicherheit greifen, kann das schnellste Boot formen, kann entdecken und erfinden, berechnen und konstruieren, kann noch größere Wunder verrichten — aber alle Blinden, welche derartiges geleistet haben, stammen von Menschen mit sehenden Augen ab. Die Natur kann dasselbe Resultat auf verschiedenen Wegen erreichen. Gleich einer Welle in der physikalischen Welt, in dem unendlichen Ozean des alles durchdringenden Mediums, so schreitet in der Welt der Organismen, im Leben, ein gegebener Anstoß weiter, manchmal mit der Geschwindigkeit des Lichtes, manchmal wieder so langsam, daß er auf Menschenalter hinaus stillzustehen scheint, indem er durch unbegreiflich verwickelte Prozesse zum Menschen gelangt, aber in allen seinen Formen und in allen Stadien seine Energie beständig vollständig beibehält. Ein einziger Lichtstrahl von einem fernen Sterne, der in das Auge eines Tyrannen in längst entschwundenen Zeiten fiel, kann den Lauf seines Lebens geändert, kann das Schicksal von Nationen beeinflußt, kann die Oberfläche der Erdkugel umgestaltet haben, so verwickelt, so unbegreiflich verschlungen sind die Vorgänge in der Natur. Auf keine Weise können wir eine so überwältigende Vorstellung von der Größe der Natur erhalten, als wenn wir erwägen, daß in Übereinstimmung mit dem Gesetze der Erhaltung der Energie durch den ganzen unendlichen Raum die Kräfte in vollkommenem Gleichgewicht sich befinden und daher die Energie eines

einzigem Gedankens die Bewegung eines Universums bestimmen kann. Es ist nicht notwendig, daß jedes Individuum, nicht einmal, daß jede Generation oder viele Generation das physikalische Instrument des Sehens besitzen, um fähig zu sein, Bilder zu formen oder zu denken, d. h. Ideen oder Begriffe zu bilden, aber sicher muß zu der oder jener Zeit während des Entwicklungsprozesses das Auge existiert haben, sonst würde das Denken, wie wir es verstehen, unmöglich sein, sonst würden Begriffe, wie Geist, Intellekt, Verstand oder wie man es sonst nennen möge, nicht existieren. Es ist denkbar, daß in einer andern Welt bei andern Wesen das Auge durch ein anderes Organ von gleicher oder größerer Vollkommenheit ersetzt ist, aber diese Wesen können keine Menschen sein.

Was reizt uns nun zu allen freiwilligen Bewegungen und Handlungen irgendwelcher Art? Wiederum das Auge! Wenn ich mir der Bewegung bewußt bin, muß ich eine Vorstellung oder Empfindung d. h. ein Bild und daher das Auge haben. Wenn ich mir der Bewegung nicht genau bewußt bin, so ist dies deshalb, weil die Bilder verschwommen oder undeutlich sind, indem sie durch die Übereinanderlagerung vieler verwischt werden. Wenn ich aber die Bewegung ausführe, kommt dann der Anstoß, welcher mich zu der Handlung treibt, von innen oder von außen? Die größten Physiker haben es nicht verschmäht, nach einer Antwort auf diese und ähnliche Fragen zu suchen, und haben sich zu Zeiten dem Vergnügen des reinen und uneingeschränkten Denkens hingegeben. Derartige Fragen wurden allgemein als nicht zum Gebiet der positiven physikalischen Wissenschaft gehörig betrachtet, es wird aber nicht lange dauern, daß sie in ihren Bereich gezogen werden. *Helmholtz* hat wahrscheinlich mehr über das Leben nachgedacht, als irgend ein anderer moderner Gelehrter. Lord *Kelvin* sprach seine Ansicht dahin aus, daß der Lebensprozeß ein elektrischer Vorgang sei und daß es eine dem Organismus inhärente und seine Bewegungen bestimmende Kraft gäbe. In demselben Grade, wie ich von jeder physikalischen Wahrheit überzeugt bin, bin ich auch überzeugt, daß der Bewegungsimpuls von außen kommen muß. Denn betrachten wir den niedrigsten Organismus, den wir kennen — und es gibt wahrscheinlich viele niedrigeren — einen Apparat von nur wenigen Zellen. Wenn derselbe freiwilliger Bewegung fähig ist, so kann er eine unendliche Anzahl von Bewegungen, die sämtlich bestimmt und exakt sind, ausführen. Nun kann aber ein Mechanismus, der aus einer endlichen Anzahl von Teilen und obendrein aus nur wenigen besteht, nicht eine unendliche Anzahl bestimmter Bewegungen ausführen; demnach müssen die Impulse, welche seine Bewegungen bestimmen, aus der Umgebung kommen. So wird das Atom, das letzte Element des Weltgefü-

ges, im Raume ewig herumgeworfen, ein Spiel äußerer Einflüsse, gleich einem Boot auf wogender See. Könnte man seine Bewegung anhalten, so würde es zu Grunde gehen. Ruhende Materie, wenn es etwas derartiges gäbe, würde tote Materie sein. Tod der Materie! Nie ist ein Ausspruch von tieferer philosophischer Bedeutung getan worden. In dieser nachdrücklichen Weise sprach ihn Prof. *Dewar* bei der Beschreibung seiner Bewundernswerten Versuche aus, bei denen er mit flüssigem Sauerstoff hantierte, wie man sonst mit Wasser hantiert, und Luft bei gewöhnlichem Drucke durch große Kälte kondensierte und sogar in den festen Zustand überführte, Versuche, die dazu dienen, in ihrer Sprache die letzten schwachen Lebensäußerungen, das letzte Erzittern der Materie vor dem Tode zu erläutern. Menschengenossen sollen jedoch nicht Zeugen solchen Todes sein. Es gibt keinen Tod der Materie, denn im ganzen unendlichen Universum muß alles sich bewegen, schwingen, d. h. leben.

Ich habe die vorhergehenden Bemerkungen gemacht auf die Gefahr hin, den Boden der Metaphysik zu betreten, weil ich wünschte, den Gegenstand meines Vortrages in einer für das Auditorium, vor dem ich zu sprechen die Ehre habe, hoffentlich nicht ganz uninteressanten Weise einzuleiten. Nunmehr aber kehre ich wieder zu dem Gegenstand zurück. Dieses göttliche Sehorgan, dieses unentbehrliche Instrument für das Denken und für jeden geistigen Genuß, welches uns die Wunder des Universums offenbart, durch welches wir alles Wissen, das wir besitzen, erworben haben, welches uns zu jeder physischen und geistigen Tätigkeit anregt und dieselbe kontrolliert, wodurch wird es angeregt? Durch Licht! Was ist Licht?

Wir waren Zeuge der großen Errungenschaften, welche auf allen Gebieten der Wissenschaft in neuerer Zeit gemacht worden sind. So groß waren die Fortschritte, daß wir uns nicht enthalten können zu fragen: Ist alles dieses wahr oder ist es nur ein Traum? Jahrhunderte lang haben die Menschen gelebt, gedacht, entdeckt, erfunden und haben geglaubt, sie flögen davon, während sie nur im Schneckengange vorwärts kamen. So können auch wir uns täuschen. Wenn wir aber die Wahrheit der beobachteten Ereignisse als eine der stillschweigenden Voraussetzungen der Wissenschaft annehmen, so müssen wir uns freuen über die ungeheuren Fortschritte, die bereits gemacht worden sind, und noch mehr über das, was voraussichtlich kommen muß, wenn man nach den von der modernen Forschung eröffneten Möglichkeiten urteilt. Es gibt jedoch eine Errungenschaft, die wir selbst miterlebt haben und die jeden Liebhaber des Fortschritts mit besonderer Befriedigung erfüllen muß. Es ist nicht eine Entdeckung oder Erfindung oder eine Vervollkommenung nach irgend einer besonderen Richtung; es ist ein Fortschritt nach allen Richtungen

des menschlichen Denkens und Experimentierens. Ich meine die Verallgemeinerung der Naturkräfte und Naturerscheinungen, das Sichtbarwerden einer gewissen umfassenden Idee am wissenschaftlichen Horizont. Es ist diese Idee, welche allerdings schon lange die fortgeschrittensten Geister gefangen hält, auf welches ich Ihre Aufmerksamkeit lenken möchte und die ich Ihnen in allgemeiner Weise in diesen Versuchen als dem ersten Schritte zur Beantwortung der Frage: „Was ist Licht?“ zu erläutern gedenke, um die moderne Bedeutung dieses Wortes Ihnen klarzulegen.

Es liegt außerhalb des Zieles meines Vortrages, den Gegenstand des Lichtes im Allgemeinen zu behandeln, vielmehr liegt es nur in meiner Absicht, gegenwärtig eine bestimmte Klasse von Lichtwirkungen und eine Anzahl von Erscheinungen, die beim Verfolg des Studiums dieser Wirkungen beobachtet wurden, Ihnen vorzuführen. Um jedoch in meinen Bemerkungen zusammenhängend zu bleiben, muß ich vorausschicken, daß nach jener Vorstellung, die jetzt von der Mehrzahl der Gelehrten als ein positives Resultat theoretischer und experimenteller Forschung angenommen ist, die verschiedenen Formen oder Äußerungen der Energie, welche allgemein als „elektrisch“ oder genauer „elektromagnetisch“ bezeichnet werden, Energieäußerungen derselben Art wie diejenigen der strahlenden Wärme und des Lichtes sind. Daher können die Erscheinungen des Lichtes und der Wärme und noch andere außer diesen elektrische Erscheinungen genannt werden. Auf diese Weise ist die Elektrizitätslehre die Mutterwissenschaft aller anderen Wissenschaften und das Studium derselben höchst wichtig geworden. Der Tag, an welchem wir genau wissen werden, was „Elektrizität“ ist, wird ein wahrscheinlich größeres, wichtigeres Ereignis zu verzeichnen haben, als es je in der Geschichte des Menschengeschlechts verzeichnet ist. Die Zeit wird kommen, wo das Wohlbefinden, ja vielleicht die ganze Existenz des Menschen, von diesem wunderbaren Agens abhängen wird. Zu unserer Existenz und unserem Wohlbefinden bedürfen wir der Wärme, des Lichts und mechanischer Kraft. Wie verschaffen wir uns alles dieses? Wir bekommen es aus der Feuerung, wir bekommen es durch den Verbrauch von Material. Was werden die Menschen anfangen, wenn die Wälder verschwunden, die Kohlenfelder erschöpft sind? Es wird nach unserer gegenwärtigen Kenntnis nur eins übrig bleiben, nämlich die Kraft aus große Entfernungen zu übertragen. Die Menschen werden zu den Wasserfällen, zu den Gezeiten gehen, welches die Vorratskammern eines kleinen Teils der unermesslichen Energie der Natur sind. Dort werden sie die Energie auffangen und dieselbe nach ihren Wohnungen übertragen, um ihre Häuser zu erwärmen, ihnen Licht zu spenden und ihre gehorsamen Sklaven, die Maschinen, in Tä-

tigkeit zu erhalten. Aber wie sollen sie diese Energie übertragen, wenn nicht durch Elektrizität? Man urteile also selbst, ob nicht dann die Behaglichkeit, ja die ganze Existenz des Menschen von der Elektrizität abhängen wird. Ich bin mir wohlbewußt, daß diese Ansicht nicht die eines praktischen Ingenieurs ist, aber sie ist auch nicht die eines Phantasten, denn es ist sicher, daß die Kraftübertragung, welche gegenwärtig nur ein Anreiz zu Unternehmungen ist, eines Tages eine zwingende Notwendigkeit werden wird.

Es ist für den Studierenden, welcher das Studium der Lichterscheinungen beginnt, wichtiger, sich mit gewissen modernen Anschauungen vollständig vertraut zu machen, als ganze Bücher über den Gegenstand des Lichtes ohne Zusammenhang mit diesen Anschauungen durchzulesen. Hätte ich also diese Demonstrationen vor Belehrung suchenden Studierenden zu halten — und im Interesse der wenigen, die hier vielleicht zugegen sind, möge mir diese Annahme erlaubt sein —, so würde es mein eifrigstes Bestreben sein, bei den hier vorzuführenden Versuchen diese Anschauung ihrem Geiste einzuprägen.

Es könnte für diesen Zweck genügen, ein einfaches und wohlbekanntes Experiment anzustellen. Ich könnte einen bekannten Apparat, eine Leydener Flasche, nehmen, dieselbe mit einer Reibungsmaschine laden und dann entladen. Wenn ich Ihnen den permanenten Zustand derselben nach der Ladung und den Übergangszustand während der Entladung auseinandersetze, dann Ihre Aufmerksamkeit auf die dabei ins Spiel tretenden Kräfte und die verschiedenen durch sie hervorgerufenen Erscheinungen andeutete, so würde es mir vollständig gelingen, jene moderne Anschauung darzulegen. Ohne Zweifel würde dieser einfache Versuch den Denker ebenso sehr anregen wie die glänzendste Vorstellung. Indessen soll dies ja ein Experimentalvortrag sein, der außer zur Belehrung auch zur Unterhaltung dienen soll, und ein einfacher Versuch wie der eben erwähnte würde nicht viel zur Erreichung des Zieles, welches ich mir gesteckt habe, beitragen. Ich muß daher einen anderen Weg der Auseinandersetzung wählen, der allerdings mehr theatralisch, darum aber vielleicht nicht wenig lehrreich ist. Anstatt der Reibungsmaschine und der Leydener Flasche werde ich mich bei diesen Versuchen einer Induktionsspule von besonderen Eigenschaften bedienen, die ich ausführlich in einem Vortrage vor der Londoner Institution of Electrical Engineers im Februar 1892* beschrieben habe. Diese Induktionsspule vermag Ströme von enormen Spannungsdifferenzen, die mit außerordentlicher Schnelligkeit sich ändern, zu lie-

Vgl. „Über Wechselströme von hoher Spannung und hoher Frequenz.“ in: *Beiträge zur Nikola-Tesla-Forschung Band 3. Anm. d. Hrsg.*

fern. Mit diesem Apparate will ich Ihnen drei verschiedene Klassen von Wirkungen oder Erscheinungen vorführen und ich werde die Sache so einrichten, daß jeder Versuch nicht bloß dem Zwecke der Erläuterung dient, sondern zugleich uns auch irgend eine neue Wahrheit lehrt oder uns diese bezaubernde Wissenschaft von einer neuen Seite zeigt. Bevor ich dies aber tue, scheint es mir zweckmäßig und nützlich, zunächst die angewendeten Apparate und die Methode zur Erzeugung der Ströme von so hohen Spannungen und Frequenzen, wie ich sie bei diesen Versuchen benutzt habe, zu behandeln.

Über die Apparate und die Methode der Umwandlung.

DIESE STRÖME VON HOHER FREQUENZ WERDEN AUF EINE BESONDERE ART ERHALTEN. Die angewendete Methode wurde von mir vor etwa zwei Jahren in einem Experimentalvortrag vor dem American Institute of Electrical Engineers

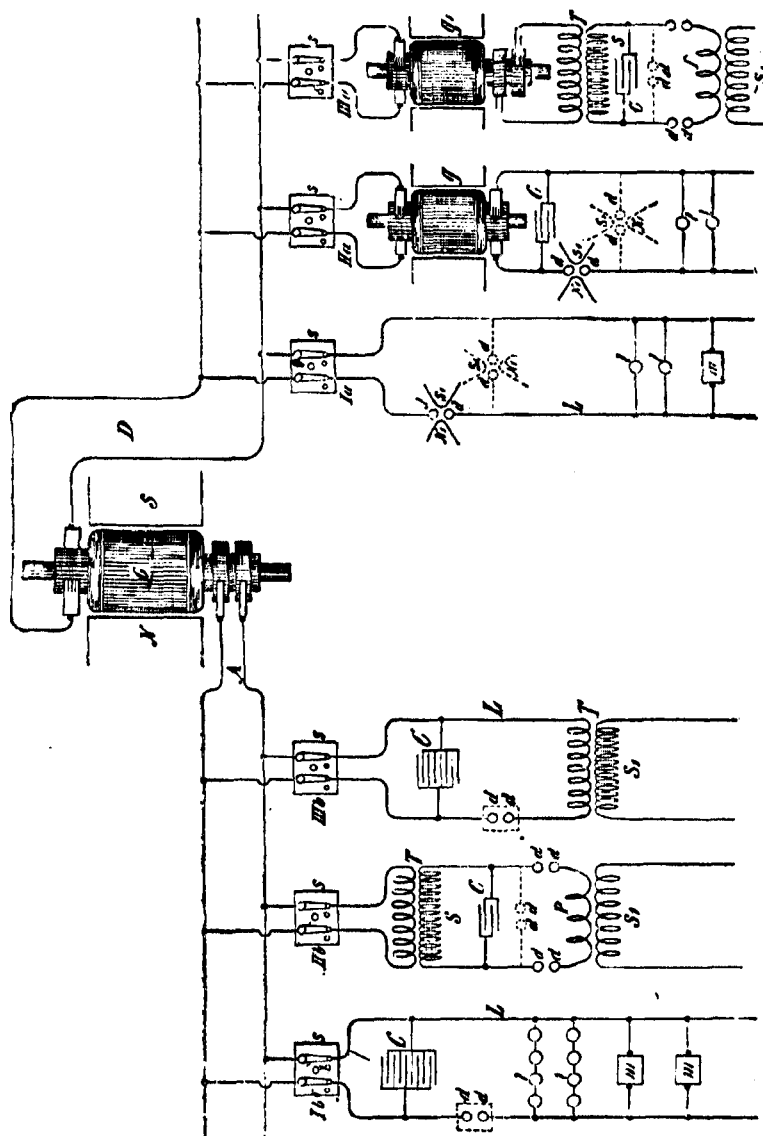


Fig 1.

angegeben. Eine Reihe von Methoden, wie sie im Laboratorium angewendet wurden, um diese Ströme entweder aus Gleichströmen oder aus Wechselströmen von geringer Frequenz zu erhalten, ist schematisch in Fig. 1 angedeutet, und dieselben werden später im einzelnen beschrieben werden. Der allgemeine Plan dabei ist, aus einer Gleich- oder Wechselstromquelle, am besten von hoher Spannung, Kondensatoren zu laden und disruptiv zu entladen, wobei die bekannten Bedingungen innezuhalten sind, die erforderlich sind, die Oszillationen des Stromes zu erhalten. Mit Rücksicht auf das allgemeine Interesse, welches man den Strömen hoher Frequenz und den mit ihnen hervorzubringenden Wirkungen widmet, erscheint es mir zweckmäßig, diese Umwandlungsmethode etwas ausführlicher darzulegen.

Um Ihnen eine klare Vorstellung von dem Vorgange zu geben, will ich annehmen, daß ein Gleichstromgenerator verwendet wird, was oft sehr bequem ist. Es ist erwünscht, daß der Generator eine so hohe Spannung besitzt, daß er im Stande ist, einen kleinen Luftraum zu durchschlagen. Ist dies nicht der Fall, so muß man zu gewissen Hilfsmitteln seine Zuflucht nehmen, deren einige in der Folge angedeutet werden sollen. Sind die Kondensatoren bis zu einem gewissen Potential geladen, so gibt die Luft oder der isolierende Zwischenraum nach und es erfolgt eine disruptive Entladung. Es findet alsdann ein plötzlicher Stromstoß statt und es geht dabei im Allgemeinen ein großer Teil der aufgespeicherten elektrischen Energie verloren. Die Kondensatoren werden darauf wieder schnell geladen und der nämliche Prozeß in mehr oder weniger rascher Aufeinanderfolge wiederholt. Um solche plötzlichen Stromstöße hervorzubringen, muß man gewisse Bedingungen innehalten. Ist die Geschwindigkeit, mit welcher die Kondensatoren entladen werden, dieselbe wie die, mit welcher sie geladen werden, so kommen offenbar in dem angenommenen Falle die Kondensatoren nicht ins Spiel. Ist die Geschwindigkeit der Entladung kleiner als die der Ladung, dann können ebenfalls die Kondensatoren keine wichtige Rolle spielen. Wenn dagegen die Geschwindigkeit der Entladung größer ist als die der Ladung, so erhält man eine Aufeinanderfolge von Stromstößen. Es ist klar, daß, wenn die Geschwindigkeit, mit welcher die Energie durch die Entladung zerstreut wird, sehr viel größer ist als die des Stromzuflusses zu den Kondensatoren, die plötzlichen Stromstöße verhältnismäßig gering an Zahl sein und in langen Zwischenpausen auf einander folgen werden. Dies tritt stets ein, wenn ein Kondensator von beträchtlicher Kapazität mit Hilfe einer verhältnismäßig kleinen Maschine geladen wird. Sind die Geschwindigkeiten der Stromzuführung und der Zerstreung nicht sehr verschieden, so werden die Stromstöße schneller auf einander folgen, und

zwar um so mehr, je näher beide Geschwindigkeiten einander gleich sind, bis eine für jeden Fall besondere und von mehreren Ursachen abhängige Grenze erreicht ist. Auf diese Weise sind wir im Stande, von einem Gleichstromgenerator eine so schnelle Aufeinanderfolge der Entladungen zu erhalten, wie wir wollen. Je höher die Spannung des Generators ist, um so niedriger braucht natürlich die Kapazität der Kondensatoren zu sein, und aus diesem Grunde hauptsächlich ist es von Vorteil, einen Generator von sehr hoher Spannung zu verwenden. Außerdem gestattet ein solcher Generator die Erreichung größerer Schwingungszahlen.

Die Stromstöße können unter den vorher angenommenen Bedingungen die nämliche Richtung haben, in den meisten Fällen findet jedoch eine Oszillation statt, welche sich über die ursprüngliche Stromwelle hinüberlagert. Wenn die Bedingungen so bestimmt sind, daß keine Oszillationen stattfinden, so sind die Stromstöße gleichgerichtet und man hat auf diese Weise ein Mittel, um einen Gleichstrom hoher Spannung in einen solchen niedriger Spannung zu verwandeln, welches meiner Meinung nach in der Technik Anwendung finden kann.

Diese Methode der Umwandlung ist außerordentlich interessant und ich war von ihrer Schönheit sehr entzückt, als ich sie zuerst entdeckte. Sie ist in mancher Beziehung ideal. Sie hat nicht die Anwendung mechanischer Vorrichtungen irgend welcher Art zur Voraussetzung und sie gestattet, aus einem gewöhnlichen Gleichstrom- oder Wechselstromkreise Ströme jeder gewünschten Frequenz zu entnehmen. Die Frequenz der Fundamentalentladungen, welche von den relativen Geschwindigkeiten der Energiezuführung und -Zerstreuung abhängt, kann leicht durch einfache Regulierung dieser Größen innerhalb weiter Grenzen variiert werden, und ebenso die Frequenz der darüber gelagerten Schwingung durch geeignete Bestimmung der Kapazität, Selbstinduktion und des Widerstandes des Stromkreises. Die Spannung der Ströme kann ferner so hoch, als irgend eine Isolation mit Sicherheit zu widerstehen vermag, dadurch gesteigert werden, daß man Kapazität und Selbstinduktion kombiniert, oder auch durch Induktion in einem Sekundärkreise, der nur verhältnismäßig wenige Windungen zu haben braucht.

Da die Verhältnisse oft so liegen, daß das Intermittieren oder die Oszillation der Entladungen sich nicht leicht von selbst herstellt, besonders wenn eine Gleichstromquelle benutzt wird, so ist es von Vorteil, mit dem Lichtbogen einen Unterbrecher zu verbinden; z. B. habe ich vor einiger Zeit zu diesem Zwecke auf die Benutzung eines Luftgebläses oder eines Magnets oder anderer derartiger leicht zur Hand liegender Vorrichtungen hingewiesen. Der Magnet

wird mit besonderem Vorteil bei der Umwandlung von Gleichströmen angewandt, als er alsdann sehr wirksam ist. Ist die primäre Stromquelle ein Wechselstromgenerator, so ist es erwünscht, wie ich bei anderer Gelegenheit auseinandergesetzt habe, daß die Frequenz niedrig und der den Bogen bildende Strom groß sei, um den Magnet wirksamer zu machen.

Eine Form eines solchen Entladers mit einem Magneten, der sich als zweckmäßig erwiesen hat und nach einigen Probeversuchen insbesondere bei der Umwandlung von Gleichströmen verwendet wurde, ist in Fig. 2 abgebildet. NS sind Polstücke eines sehr starken Magneten, welcher durch eine Spule C erregt wird. Die Polstücke sind behufs Regulierung mit Schlitten versehen und können mittels der Schrauben s_1 in jeder Lage befestigt werden. Die Entladungsstäbe d_1 , welche an den Enden dünner gemacht sind, um eine

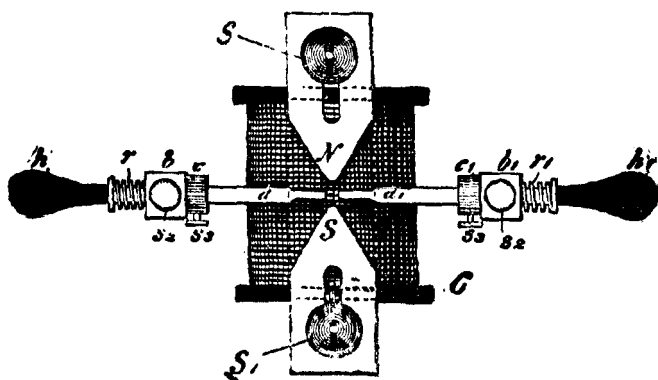


Fig. 2.

größere Annäherung der magnetischen Polstücke zu ermöglichen, gehen durch die Messingsäulen b_1 hindurch und werden durch Schrauben s_2 in ihrer Lage festgehalten. Über die Stäbe sind Federn r und Muffen c_1 geschoben, von denen letztere dazu dienen, die Spitzen der Stäbe mittels der Schrauben s_2 in einem gewissen Abstände zu halten, erstere dagegen, um die Spitzen auseinander zu ziehen. Will man den Lichtbogen einleiten, so wird einer der großen Gummihandgriffe h_1 mit der Hand schnell angeschlagen, wodurch die Spitzen der Stäbe in Berührung gebracht, aber sogleich wieder durch die Federn r_1 getrennt werden.

Eine solche Anordnung hat sich oft als notwendig erwiesen, namentlich in

Fällen, wo die elektromotorische Kraft nicht groß genug war, um den Luft-raum zu durchschlagen, oder auch wo es wünschenswert war, Kurzschluß des Generators durch den metallischen Kontakt der Stäbe zu vermeiden. Die Schnelligkeit der Unterbrechungen des Stromes mittels des Magneten hängt von der Intensität des magnetischen Feldes und von der Potentialdifferenz an dem Ende des Bogen ab. Die Unterbrechungen folgen im Allgemeinen so schnell auf einander, daß sie einen musikalischen Ton *erzeugen*. Vor Jahren wurde beobachtet, daß, wenn eine mächtige Induktionsspule zwischen den Polen eines starken Magneten entladen wird, die Entladung ein lautes Geräusch, das einem Pistolenschuß nicht unähnlich ist, hervorbringt. Man behauptete obenhin, daß der Funken durch die Anwesenheit des magnetischen Feldes verstärkt worden wäre. Wir wissen jetzt, daß der eine Zeitlang fließende Entladungsstrom durch den Magneten sehr oft unterbrochen wird und daß dadurch der Ton entsteht. Die Erscheinung ist besonders markant, wenn der Feldstromkreis eines großen Magnets oder einer Dynamomaschine in einem

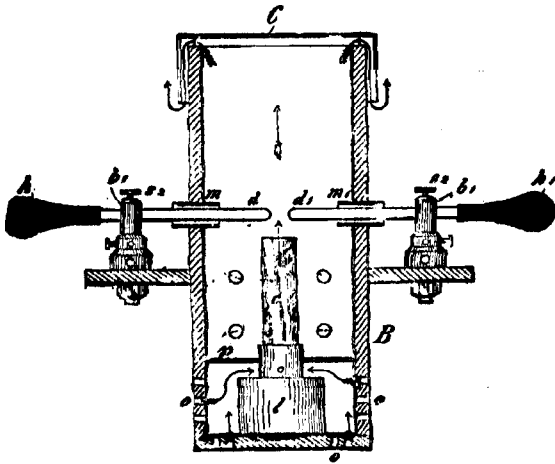


Fig. 3.

kräftigen magnetischen Felde unterbrochen wird.

Wenn der Strom durch die Luftstrecke verhältnismäßig groß ist, so ist es von Vorteil, auf die Spitzen der Entladungsstäbe Stücke aus sehr harter Kohle aufzusetzen und den Bogen zwischen den Kohlenstücken spielen zu lassen.

Dies schützt die Stäbe und hat außerdem den Vorteil, daß der Luftzwischenraum heißer erhalten wird, da die Wärme durch die Kohlen nicht so schnell abgeleitet wird, und das Resultat ist, daß eine kleinere elektromotorische Kraft in der Funkenstrecke erforderlich ist, um eine Reihe auf einander folgender Entladungen zu unterhalten.

Eine andere Form des Entladers, die in gewissen Fällen mit Vorteil angewendet werden kann, ist in Fig. 3 abgebildet. In diesem Falle gehen die Entladungsstäbe $d d_1$ durch Bohrungen in einem hölzernen Kasten B hindurch, der innen, wie durch die starken Linien angedeutet ist, dick mit Glimmer bekleidet ist. Die Bohrungen sind mit dicken Glimmerröhren $m m_1$ versehen, die am besten nicht mit den Stäben $d d_1$ in Berührung stehen. Der Kasten hat einen Deckel C , welcher etwas größer ist und außerhalb des Kastens über letzteren übergreift. Die Funkenstrecke wird durch eine kleine in dem Kasten befindliche Lampe l erwärmt. Eine Platte p über der Lampe gestattet dem Zuge nur durch den Schornstein e der Lampe abzuziehen; die Luft tritt durch die in dem Boden des Kastens oder nahe an diesem befindlichen Öffnungen $o o$ ein und folgt dem durch die Pfeile angedeuteten Wege. Ist der Entlader in Tätigkeit, so wird der Deckel des Kastens geschlossen, so daß das Licht des Bogens außen nicht sichtbar ist. Es ist erwünscht, das Licht so vollkommen wie möglich abzuschließen, da es einige Versuche beeinträchtigt.

Diese Form des Entladers ist einfach und, wenn sie zweckmäßig gehandhabt wird, sehr wirksam. Wird die Luft bis zu einer gewissen Temperatur erwärmt, so wird ihre Isolierfähigkeit geschwächt; sie wird gewissermaßen dielektrisch schwach und die Folge ist, daß der Bogen auf viel größere Entfernung hergestellt werden kann. Der Luftzwischenraum sollte natürlich noch genügend isolieren, damit die Entladung durch denselben *disruptiv* übergeht. Der unter solchen Verhältnissen gebildete Bogen kann, wenn lang, außerordentlich empfindlich gemacht werden und der schwache Zug durch den Lampenzylinder e ist durchaus hinreichend, um rasche Unterbrechungen herbeizuführen. Die Einstellung wird durch Regulierung der Temperatur und der Geschwindigkeit des Zuges bewirkt. Anstatt eine Lampe zu benutzen, kann man einen Strom warmer Luft auch auf andere Weise hervorbringen. Ein sehr einfaches Verfahren, welches auch praktisch ausgeführt wurde, besteht darin, daß man den Bogen in einen langen vertikalen Zylinder einschließt, der oben und unten zur Regulierung der Temperatur und der Geschwindigkeit des Luftstromes mit Platten versehen ist. Auch für die Abschwächung des Tones muß man Vorkehrungen treffen.

Die Luft kann auch durch Verdünnung zu einem schwächeren Dielektri-

kum gemacht werden. Entlader dieser Art wurden von mir ebenfalls benutzt und zwar in Verbindung mit einem Magnet. Zu diesem Zwecke ist eine weite Röhre mit starken Kohlen- oder Metallelektroden versehen, zwischen denen die Entladung vor sich geht, während die Röhre in ein kräftiges magnetisches Feld gebracht wird. Die Evakuierung der Röhre wird bis zu einem Punkte ausgeführt, bei welchem die Entladung leicht vor sich geht, jedoch sollte der Druck mehr als 75 mm betragen, da bei diesem die gewöhnliche Fadenentladung eintritt. Bei einer andern Form des Entladers, bei welcher die vorher erwähnten Eigentümlichkeiten vereinigt sind, läßt man die Entladung zwischen zwei adjustierbaren magnetischen Polstücken übergehen, wobei der zwischen ihnen befindliche Raum auf einer erhöhten Temperatur gehalten wird.

Es muß hier bemerkt werden, daß, wenn derartige oder irgendwelche anderen Unterbrechungsvorrichtungen benutzt und die Ströme durch den Primärkreis einer disruptiven Entladungsspule gesandt werden, es in der Regel nicht von Vorteil ist, eine größere Anzahl von Stromunterbrechungen per Sekunde hervorzubringen, als die natürliche, gewöhnlich niedrige Frequenz der Vibrationen des stromliefernden Dynamostromkreises ist. Ferner muß darauf hingewiesen werden, daß, so vorteilhaft auch die erwähnten Vorrichtungen bei der disruptiven Entladung unter gewissen Bedingungen sind, sie doch zuweilen eine Quelle der Störung sein können, da sie Unterbrechungen und andere Unregelmäßigkeiten in den Schwingungen verursachen, deren Beseitigung sehr wünschenswert sein würde.

Es besteht leider bei dieser schönen Transformationsmethode ein Mangel, welcher glücklicherweise nicht wesentlich ist und den ich allmählich überwunden habe. Ich werde am besten die Aufmerksamkeit auf diesen Mangel lenken und ein fruchtbringendes Feld für weitere Arbeiten angeben, indem ich den elektrischen Vorgang mit seinem mechanischen Analogon vergleiche. Der Vorgang kann in folgender Weise erläutert werden. Man denke sich ein Reservoir mit einer weiten Öffnung am Boden, die durch Federdruck geschlossen gehalten wird, aber so, daß sie *plötzlich* aufschnellt, wenn die Flüssigkeit in dem Reservoir eine gewisse Höhe erreicht hat. Die Flüssigkeit möge nun durch ein Speiserohr mit einer gewissen Geschwindigkeit in das Reservoir fließen. Hat die Flüssigkeit die kritische Höhe erreicht, so gibt die Feder nach und der Boden des Reservoirs fällt heraus. Sofort fließt die Flüssigkeit durch die weite Öffnung aus und die Feder, die wieder zur Geltung kommt, schließt den Boden von Neuem. Das Reservoir wird nun gefüllt und nach einem gewissen Zeitintervall wiederholt sich derselbe Vorgang. Es ist ersichtlich, daß, wenn das Rohr die Flüssigkeit schneller zuführt, als sie der Boden auszulassen im

Stande ist, der Boden offen bleibt und trotzdem das Reservoir überfließt. Wenn die Geschwindigkeiten des Zu- und Abflusses genau gleich sind, so bleibt das Bodenventil teilweise offen und es tritt im Allgemeinen keine Schwingung desselben und der Flüssigkeitssäule ein, obwohl dies möglich wäre, wenn sie auf irgend eine Weise eingeleitet würde. Wenn jedoch das Einlaßrohr die Flüssigkeit für den Abfluß nicht schnell genug zuführt, so findet stets eine Schwingung statt. In solchem Falle werden jedesmal, wenn der Boden auf- oder niederklappt, die Feder und die Flüssigkeitssäule, falls die Elastizität der Feder und die Trägheit der beweglichen Teile passend gewählt sind, von einander unabhängige Schwingungen ausführen. Bei diesem Beispiel kann die Flüssigkeit der Elektrizität oder elektrischen *Energie*, das Reservoir dem Kondensator, die Feder dem Dielektrikum und das Zuführungsrohr dem Leiter, durch welchen die Elektrizität dem Kondensator zugeführt wird, verglichen werden. Um diese Analogie zu einer vollständigen zu machen, muß man annehmen, daß der Boden, jedesmal wenn er nachgibt, mit Gewalt gegen eine nichtelastische Hemmung stößt, welcher Anschlag einen gewissen Energieverlust zur Folge hat, und daß außerdem einige Energie in Reibungsverlusten verzehrt wird. Bei dem vorigen Beispiel ist angenommen, daß die Flüssigkeit unter konstantem Druck sich befinde. Nimmt man an, daß der Wasserzufluß ein rhythmisch variierender sei, so kann dies als dem Falle eines Wechselstromes entsprechend angesehen werden. Der Vorgang ist dann nicht ganz so einfach zu verfolgen, indessen ist die Wirkung im Prinzip dieselbe.

Um die Schwingungen ökonomisch herzustellen, ist es wünschenswert, den Verlust durch den Anschlag und die Reibungsverluste so viel als möglich zu verringern. Was die letzteren anbelangt, welche bei dem elektrischen Analogon den von dem Widerstand der Stromkreise herrührenden Verlusten entsprechen, so ist es unmöglich, sie ganz zu vermeiden, sie können aber durch geeignete Wahl der Dimensionen der Stromkreise und durch Verwendung dünner Leiter in Form von Seilen auf ein Minimum reduziert werden. Wichtiger aber würde es sein, den durch das erste Durchschlagen des Dielektrikums — welches in dem obigen Beispiel dem heftigen Anschlagen des Bodens gegen die unelastische Hemmung entspricht — verursachten Energieverlust zu beseitigen. Im Augenblick des Durchschlagens besitzt der Luftzwischenraum einen sehr hohen Widerstand, der wahrscheinlich auf einen sehr kleinen Wert reduziert wird, wenn der Strom eine gewisse Stärke erreicht hat, und der Luftraum auf eine hohe Temperatur gebracht ist. Es würde den Energieverlust wesentlich verringern, wenn der Luftraum stets auf einer außerordentlich hohen Temperatur gehalten würde, alsdann aber würde keine disruptive Entladung

stattfinden. Durch mäßige Erwärmung des Luftraumes mittels einer Lampe oder auf andere Weise wird die Ökonomie, soweit der Lichtbogen in Betracht kommt, merklich erhöht. Der Magnet oder irgend eine andere Unterbrechungsvorrichtung vermindert jedoch nicht den Verlust im Lichtbogen. In gleicher Weise erleichtert ein Luftstrahl nur die Abführung der Energie. Luft oder überhaupt ein Gas verhält sich in dieser Beziehung sonderbar. Wenn zwei zu sehr hohem Potential geladene Körper sich disruptiv durch einen Luftraum entladen, so kann jeder beliebige Energiebetrag durch die Luft abgeführt werden. Diese Energie wird offenbar durch körperliche Träger, in den durch den Anprall und Zusammenstoß der Moleküle verursachten Verlusten, zerstreut. Der Wechsel der Moleküle in dem Luftraum geht mit unfaßbarer Schnelligkeit vor sich. Findet eine kräftige Entladung zwischen zwei Elektroden statt, so können diese ganz kalt bleiben, und doch kann der Verlust in der Luft jeden beliebigen Energiebetrag darstellen. Es ist vollkommen möglich, bei sehr großen Potentialdifferenzen in dem Zwischenraum mehrere Pferdestärken in dem Entladungsbogen zu zerstreuen, ohne daß man eine geringe Temperaturerhöhung der Elektroden wahrnimmt. Sämtliche Reibungsverluste treten also praktisch in der Luft auf. Wird der Wechsel der Luftmoleküle verhindert, z. B. durch hermetischen Abschluß der Luft, so wird das in dem Gefäß enthaltene Gas schnell zu einer hohen Temperatur, selbst mit einer sehr kleinen Entladung gebracht. Es ist schwer zu beurteilen, wieviel Energie in hörbaren oder nicht hörbaren Schallwellen bei einer kräftigen Entladung verloren wird. Sind die den Luftraum durchbrechenden Ströme sehr groß, so können die Elektroden schnell heiß werden, aber dies ist kein verlässliches Maß für die in dem Bogen vergeudete Energie, da der Verlust durch den Luftraum selbst verhältnismäßig gering sein kann. Die Luft oder überhaupt ein Gas ist wenigstens bei gewöhnlichem Drucke offenbar nicht das beste Medium, durch welches eine disruptive Entladung stattfinden sollte. Luft oder Gas unter großem Drucke ist natürlich ein weit geeigneteres Medium für die Entladungsstrecke. Ich habe lange fortgesetzte Versuche nach dieser Richtung ausgeführt, die leider wegen der Schwierigkeiten und der Kosten, welche mit der Erhaltung der Luft unter starkem Drucke verbunden sind, sich nicht so leicht anstellen lassen. Aber auch wenn das Medium in der Entladungsstrecke ein fester oder flüssiger Körper ist, finden doch dieselben Verluste statt, wenn sie auch im allgemeinen geringer sind, da gerade so schnell, als der Lichtbogen hergestellt wird, die festen oder flüssigen Körper verflüchtigt werden. In der Tat gibt es keinen bekannten Körper, der nicht durch den Bogen aufgelöst würde, und es ist eine offene Frage unter den Gelehrten, ob eine Bogenentladung überhaupt

in der Luft eintreten würde, ohne daß Partikeln der Elektrode losgerissen würden. Ist der Strom durch die Luftstrecke sehr klein und der Bogen sehr lang, so wird, glaube ich, ein relativ beträchtlicher Wärmebetrag durch die Auflösung der Elektroden verzehrt, welche zum Teil aus diesem Grunde ganz kalt bleiben können.

Das ideale Medium für eine Entladungsstrecke sollte nur auseinanderbersten, und die ideale Elektrode sollte aus irgend einem Material sein, welches nicht aufgelöst werden kann. Bei kleinen Strömen durch die Luftstrecke wendet man am besten Aluminium an, dagegen nicht, wenn die Ströme groß sind. Das disruptive Durchschlagen in der Luft oder mehr oder weniger in jedem gewöhnlichen Medium hat nicht *die* Natur des Berstens, sondern ist eher dem Durchdringen unzähliger Bläschen durch eine der Bewegung der Bläschen großen Reibungswiderstand entgegengesetzte Masse vergleichbar, womit ein bedeutender Energieverlust verknüpft ist. Ein Medium, welches nur bersten würde, wenn es elektrostatisch zusammengepreßt wird — und dies kann möglicher Weise bei einem vollkommenen Vakuum, d. h. reinem Äther der Fall sein —, würde einen sehr geringen Energieverlust in der Entladungsstrecke bedingen, so gering, daß er, wenigstens theoretisch, vollständig zu vernachlässigen wäre, weil ein Bersten durch eine unendlich kleine Verschiebung hervorgebracht werden kann. Indem ich eine mit zwei Aluminiumelektroden versehene längliche Glasbirne mit der größten Sorgfalt evakuierte, gelang es mir ein solches Vakuum zu erzeugen, daß die sekundäre Entladung einer disruptiven Entladungsspule disruptiv in der Form feiner Funkenströme durch die Glasbirne hindurchging. *Der* merkwürdige Punkt hierbei war, daß die Entladung sich um die beiden als Elektroden dienenden Aluminiumplatten ihren Anfang nahm. Dieses außerordentlich hohe Vakuum konnte nur eine sehr kurze Zeit erhalten werden.

Um zum idealen Medium zurückzukehren, denke man sich zur Veranschaulichung ein Stück Glas oder einen andern ähnlichen Körper in einen Schraubstock eingeklemmt und den letzteren mehr und mehr festgedreht. An einem gewissen Punkte wird eine geringe Vermehrung des Druckes das Glas zum Bersten bringen. Der durch die Zersplitterung des Glases bedingte Energieverlust kann praktisch gleich Null sein, da die Verschiebung, obwohl die Kraft groß ist, nur außerordentlich gering zu sein braucht. Nun stelle man sich vor, das Glas besitze die Eigenschaft, daß sich bei einer kleinen Verminderung des Druckes der Sprung wieder vollkommen schließt. Derart wird sich das Dielektrikum in der Entladungsstrecke verhalten. Da aber stets ein gewisser Verlust in dieser Strecke stattfindet, müßte das Medium, welches kontinu-

ierlich sein soll, sich mit rapider Geschwindigkeit in dem Entladungsraume erneuern. Daß das Glas bei dem angenommenen Beispiele sich wieder vollkommen schließt, würde bedeuten, daß das Dielektrikum in dem Entladungsraume ein großes Isoliervermögen besitzt; daß das Glas zerbricht, hieße, daß das Medium in dem Raume ein guter Leiter ist. Das Dielektrikum müßte also seinen Widerstand bei geringen Variationen der elektromotorischen Kraft in dem Entladungsraume enorm ändern. Dieser Zustand wird, allerdings in außerordentlich unvollkommener Weise, dadurch erreicht, daß man den Luftraum bis zu einer gewissen kritischen Temperatur, die von der elektromotorischen Kraft in dem Raume abhängt, erwärmt oder sonstwie die Isolierfähigkeit der Luft schwächt. Tatsächlich aber wird die Luft niemals *disruptiv* durchschlagen, wenn man dies Wort im strengen Sinne nimmt, denn bevor der plötzliche Stromstoß eintritt, geht demselben stets ein schwacher Strom voraus, welcher erst allmählich und dann mit verhältnismäßiger Raschheit anwächst. Das ist der Grund, warum die Geschwindigkeit des Wechsels sehr viel größer ist, wenn z. B. Glas durchschlagen wird, als wenn das Durchschlagen durch einen Luftraum von äquivalenter dielektrischer Stärke stattfindet. Als Medium für den Entladungsraum würde daher ein fester oder sogar ein flüssiger Körper vorzuziehen sein. Es fällt etwas schwer, sich einen festen Körper vorzustellen, welcher die Eigenschaft besitzt, sich, nachdem er geborsten, sofort wieder zusammen zu schließen. Eine Flüssigkeit aber verhält sich, besonders unter starkem Druck, praktisch wie ein fester Körper und besitzt überdies die Fähigkeit, die Durchbruchöffnung sofort wieder zu schließen. Hiernach kam ich auf den Gedanken, daß ein flüssiger Isolator als Dielektrikum sich besser eignen dürfte wie Luft. In Verfolg dieses Gedankens wurden eine große Anzahl verschiedener Formen von Entladern, bei welchen verschiedene derartige Isolatoren zum Teil unter großem Druck verwendet wurden, versucht. Es dürfte genügen, mit wenigen Worten auf die eine der bei den Versuchen benutzten Formen einzugehen. Einer dieser Entlader ist in den Fig. 4a und 4b dargestellt.

Auf einer Welle a , welche durch eine geeignete Vorrichtung mit beträchtlicher Geschwindigkeit rotiert werden kann, ist ein hohler flacher Metallzylinder P (Fig. 4a) befestigt. Innerhalb dieses Zylinders, aber in keiner Verbindung mit demselben, ist eine dünne Scheibe h aus Hartgummi (dieselbe ist in der Figur der Deutlichkeit wegen dicker gezeichnet) angebracht, in welche zwei Metallsegmente $s\ s$ mit metallischen Erweiterungen $e\ e$, welche die mit dicken Hartgummiröhren $t_1\ t_1$ umhüllten Zuführungsdrähte $t\ t$ eingeschraubt sind, eingelassen sind. Die Gummischeibe h mit ihren Metallsegmenten $s\ s$ wurde

mit einer Drehbank bearbeitet und ihre ganze Oberfläche sorgfältig poliert, damit sie der Bewegung durch eine Flüssigkeit den kleinstmöglichen Reibungswiderstand entgegensetze. In den Hohlraum des Zylinders war eine isolierende Flüssigkeit wie etwa ein dünnes Öl eingegossen, so daß sie bis nahe an die Öffnung des auf die Vorderseite des Zylinders fest aufgeschraubten Deckels f heranreichte. Die Drahtenden t waren mit den entgegengesetzten Belegungen einer Kondensatorenbatterie verbunden, so daß die Entladung durch die Flüssigkeit erfolgte. Wurde der Zylinder rotiert, so wurde die Flüssigkeit gegen den Rand desselben getrieben, was einen beträchtlichen Flüssigkeitsdruck zur Folge hatte. Auf diese einfache Weise wurde die Entladungsstrecke mit einem Medium erfüllt, welches sich praktisch wie ein fester Körper verhielt, welches ferner die Eigenschaft besaß, sich sofort nach erfolgtem Durchschlagen wieder zusammenzuschließen, und welches überdies mit gro-

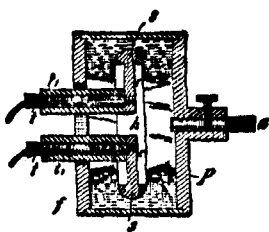


Fig. 4a.



Fig. 4b.

ßer Geschwindigkeit durch die Funkenstrecke zirkulierte.

Durch Entladungen dieser Art mit Flüssigkeitsunterbrechern, von denen mehrere verschiedene Formen hergestellt wurden, ließen sich sehr kräftige Wirkungen hervorbringen. Es ergab sich, wie erwartet wurde, daß man auf diese Weise bei gegebener Drahtlänge einen weit längeren Funken erhalten konnte, als wenn man Luft als Unterbrechungsmittel verwendete. Im Allgemeinen war bei der beschriebenen Form des Entladers die Geschwindigkeit und daher auch der Flüssigkeitsdruck infolge der Reibung der Flüssigkeit beschränkt, aber die praktisch erreichbare Geschwindigkeit war mehr als hinreichend, um eine für die gewöhnlich benutzten Stromkreise geeignete Zahl von Unterbrechungen hervorzubringen. In solchen Fällen war der Metallzylinder P mit einigen nach innen stehenden Vorsprüngen versehen und man konnte dann eine bestimmte Anzahl von Unterbrechungen erzeugen, die sich aus der Rotationsgeschwindigkeit des Zylinders berechnen ließ. Es wurden auch Ver-

suche mit Flüssigkeiten von verschiedenem Isolationsvermögen zu dem Zwecke angestellt, den Verlust im Bogen zu verringern. Wird eine isolierende Flüssigkeit mäßig erwärmt, so wird der Verlust im Bogen verringert.

Bei den Versuchen mit verschiedenen Entladungen dieser Art wurde ein nicht unwichtiger Punkt bemerkt. Es fand sich nämlich daß, während die bei diesen Formen obwaltenden Verhältnisse für die Erzeugung einer großen Funkenlänge günstig waren, der so erhaltene Strom für die Hervorbringung von Lichteffekten nicht der bestgeeignete war. Die Erfahrung hat unzweifelhaft dargetan, daß für solche Zwecke ein harmonisches Steigen und Fallen der Spannung vorzuziehen ist. Mag ein fester Körper glühend oder phosphoreszierend gemacht werden oder mag Energie mittels der Kondensatorbelegung durch das Glas übertragen werden, sicher wird ein harmonisches Anwachsen und Abfallen der Spannung eine weniger zerstörende Wirkung ausüben und das Vakuum vollkommener erhalten bleiben. Dies ließe sich leicht erklären, wenn es feststünde, daß der in einem evakuierten Gefäß vor sich gehende Prozeß elektrolytischer Natur wäre.

In der schematischen Darstellung Fig. 1, auf welche bereits hingewiesen wurde, sind die Fälle, welche voraussichtlich in der Praxis am häufigsten vorkommen, erläutert. Von einem Elektrizitätswerk wird man entweder nur Gleichstrom oder nur Wechselstrom zur Verfügung haben. Für einen Experimentator in einem isolierten Laboratorium empfiehlt es sich, eine Maschine *G*, wie in der Figur dargestellt, zu verwenden, welche beide Stromarten zu liefern vermag. In solchem Falle ist es ferner besser, eine Maschine mit mehrfachen Stromkreisen zu benutzen, da es bei vielen Versuchen nützlich und zweckmäßig ist, Ströme von verschiedener Phase zur Verfügung zu haben. In dem Schema stellt *D* den Gleichstromkreis und *A* den Wechselstromkreis dar. Bei jedem derselben sind drei Zweigstromkreise dargestellt, die sämtlich mit doppelpoligen Umschaltern *ss ss ss* versehen sind. Wir wollen zunächst die Gleichstromumwandlung betrachten. *1a* stellt den einfachsten Fall dar. Ist die elektromotorische Kraft des Generators hinreichend, um einen kleinen Luftzwischenraum zu durchschlagen, wenigstens wenn der letztere erwärmt oder auf andere Weise schwächer isolierend gemacht ist, so bietet es keine Schwierigkeit, durch richtige Regulierung der Kapazität, Selbstinduktion und des Widerstandes des die Apparate *l l m* enthaltenden Stromkreises *L* eine Oszillation mit ziemlicher Ökonomie zu unterhalten. In diesem Falle kann man mit Vorteil den Magnet *NS* mit dem Luftraum kombinieren. Der Entlader *ä d* mit dem Magnet kann dann entweder so, wie in der Figur durch ausgezogene Linie angedeutet, oder so wie es die gestrichelten Linien angeben,

angebracht werden. Es wird angenommen, daß der Stromkreis Ia nebst seinen Verbindungen und Apparaten solche Abmessungen besitzt, wie sie für die Unterhaltung einer Vibration geeignet sind. Gewöhnlich aber wird die elektromotorische Kraft im Stromkreise oder der Abzweigung Ia um 100 Volt herum liegen, und in diesem Falle ist sie nicht ausreichend, um die Luftstrecke zu durchschlagen. Um diesem Übelstande durch Erhöhung der elektromotorischen Kraft in dem Zwischenraume abzuhelpen, kann man viele verschiedene Wege einschlagen. Am einfachsten ist es wahrscheinlich, eine große Selbstinduktion in Serie mit dem Stromkreise L einzuschalten. Wenn der Bogen z. B. mittels des in Fig. 2 dargestellten Entladers hergestellt wird, so bläst ihn der Magnet in dem Augenblicke seines Entstehens sofort wieder aus. Nun schlägt der durch diese Unterbrechung entstehende Extrastrom, der von hoher elektromotorischer Kraft ist, durch die Luftstrecke, und da hierdurch ein Weg von geringem Widerstande für den Dynamostrom geschaffen ist, so erfolgt auf das Schwächerwerden oder Aufhören des Extrastromes ein plötzlicher Stromstoß von der Dynamo aus. Dieser Vorgang wiederholt sich in schneller Aufeinanderfolge und ich war auf diese Weise im Stande, Oszillationen mit nur 50 Volt oder noch weniger durch den Luftraum zu erhalten. Eine Umwandlung des Stromes nach dieser Methode ist jedoch nicht zu empfehlen mit Rücksicht auf die zu starken Ströme, welche durch die Luftstrecke hindurchgehen, und die daraus folgende Erhitzung der Elektroden; außerdem sind die auf diese Weise erhaltenen Frequenzen infolge der dem Stromkreis notwendig anhaftenden hohen Selbstinduktion gering. Es ist sehr erwünscht, eine möglichst hohe elektromotorische Kraft zu haben, einmal um die Ökonomie der Umwandlung zu erhöhen, und sodann um hohe Frequenzen zu erhalten. Die Potentialdifferenz bei dieser elektrischen Oszillation ist natürlich der spannenden Kraft bei der mechanischen Schwingung der Feder analog. Um sehr schnelle Vibrationen in einem Stromkreise mit gewisser Trägheit zu erhalten, ist eine große spannende Kraft oder Potentialdifferenz erforderlich. Nebenbei braucht der gewöhnlich in Verbindung mit dem Stromkreise benutzte Kondensator, wenn die elektromotorische Kraft sehr groß ist, nur eine geringe Kapazität zu haben, und es ergeben sich noch manche andern Vorteile. Will man die elektromotorische Kraft zu einem vielmal größeren Werte steigern, als sie in der Regel aus den gewöhnlichen Verteilungsnetzen zu erhalten ist, so benutzt man, wie in Ila in Fig. 1 dargestellt, einen rotierenden Transformator g oder sonst eine separate Maschine hoher Spannung, welche mittels eines von dem Generator G gespeisten Elektromotors betrieben wird. Die letztere Methode ist in der Tat vorzuziehen, da sich Änderungen leichter ausführen lassen. Die

von der Hochspannungswickelung ausgehenden Verbindungen sind ganz ähnlich, wie die in dem Zweigstromkreis *Ia*, mit der Ausnahme, daß ein Kondensator *C*, der regulierbar sein muß, mit dem Hochspannungsstromkreise verbunden ist. In der Regel wird ferner eine regulierbare Selbstinduktionsspule in Serie mit dem Stromkreise bei diesen Versuchen angewendet. Wenn die Spannung der Ströme sehr hoch ist, so ist der gewöhnlich in Verbindung mit dem Entlader benutzte Magnet von verhältnismäßig geringem Werte, da es sehr leicht ist, die Dimensionen des Stromkreises derart zu regulieren, daß die Oszillationen andauern. Die Verwendung einer konstanten elektromotorischen Kraft bei der Umwandlung hoher Frequenzen bietet einige Vorteile von der Verwendung einer alternierenden elektromotorischen Kraft, da die Regulierungen viel einfacher sind und die Wirkung leichter kontrolliert werden kann. Leider aber ist man durch die erreichbare Spannungsdifferenz beschränkt. Die Wickelung wird ebenfalls leicht durchschlagen infolge der Funken, welche zwischen den Abschnitten des Ankers oder Kommutators entstehen, wenn eine starke Oszillation stattfindet. Außerdem sind diese Transformatoren teurer zu bauen. Durch Erfahrung hat sich herausgestellt, daß man am besten die in *IIIa* dargestellte Methode befolgt. Bei dieser Anordnung wird ein rotierender Transformator *g* benutzt, um die Gleichströme niedrige Spannung in Wechselströme von niedriger Frequenz und am besten ebenfalls niedriger Spannung zu verwandeln. Die Spannung der Ströme wird dann in einem stationären Transformator *T* in die Höhe gebracht. Der Sekundärkreis *S* dieses Transformators ist mit einem adjustierbaren Kondensator *C* verbunden der sich durch die Funkenstrecke oder den Entlader *dd*, der an irgend einer der in der Figur angedeuteten Stellen sich befindet, durch den Primärkreis *P* einer disruptiven Entladungsspule entladet, wodurch der Strom hoher Frequenz in der bei früheren Gelegenheiten beschriebenen Weise aus dem Sekundärkreise *S* dieser Spule erhalten wird. Dies dürfte sich unzweifelhaft als der billigste und bequemste weg zur Umwandlung von Gleichströmen erweisen.

Die drei Abzweigungen des Stromkreises *A* stellen die gewöhnlichen Fälle dar, welche in der Praxis bei der Umwandlung von Wechselströmen vorkommen. In Fig. 1 *Ib* ist ein Kondensator *C*, im Allgemeinen von großer Kapazität mit dem Apparate *ll, mm* enthaltenden Stromkreise *L* verbunden. Es wird angenommen, daß die Apparate *mm* von hoher Selbstinduktion sind, um die Frequenz des Stromkreises derjenigen der Dynamo mehr oder weniger gleich zu machen. In diesem Falle sollte der Entlader *dd* am besten die doppelte Anzahl von Stromschließungen und -Unterbrechungen machen, als die Frequenz der Dynamo beträgt. Im andern Falle sollte jene Zahl wenigstens gleich einem

Vielfachen oder einem Bruchteil der Dynamofrequenz sein. Es muß in Bezug auf *Ib* bemerkt werden, daß die Umwandlung zu hoher Spannung auch bewirkt werden kann, wenn der Entlader *dd*, der in dem Schema dargestellt ist, fortgelassen wird. Aber die Wirkungen, welche von Strömen hervorgebracht werden, die augenblicklich zu hohen Werten ansteigen, wie z. B. bei einer disruptiven Entladung, sind völlig verschieden von denen, die durch harmonisch anwachsende und abfallende Dynamoströme erzeugt werden. So könnte z. B. in einem gegebenen Falle bei *dd* eine Anzahl von Stromschließungen und -Unterbrechungen stattfinden, die gerade das Zweifache der Dynamofrequenz ist, oder mit andern Worten, es könnte dieselbe Anzahl fundamentaler Oszillationen stattfinden, als ohne die Entladungsstrecke erzeugt werden würden, und es brauchte auch keine schnellere darüber gelagerte Schwingung vorhanden zu sein, und doch würden die an den verschiedenen Punkten des Stromkreises stattfindenden Spannungsdifferenzen, die Impedanz und andere von der Größe der Änderung abhängende Erscheinungen keine Ähnlichkeit in beiden Fällen besitzen. Beim Arbeiten mit disruptiv entladenden Strömen ist daher das hauptsächlich in Betracht zu ziehende Element nicht die Frequenz, wie ein Unerfahrener zu glauben geneigt sein möchte, sondern die Größe der Änderung in der Zeiteinheit. Mit niedrigen Frequenzen kann man bis zu einem gewissen Grade die nämlichen Wirkungen hervorbringen, wie mit hohen Frequenzen, vorausgesetzt, daß die Änderung hinreichend groß ist. Wenn z. B. ein Strom niedriger Frequenz zu einer Spannung von etwa 75'000 Volt erhoben und der hochgespannte Strom durch eine Reihe von Lampenfäden von hohem Widerstande geschickt wird, so ist die Wichtigkeit des den Faden umgebenden verdünnten Gases deutlich erkennbar, wie wir später sehen werden; oder wenn ein Strom von geringer Frequenz und einigen Tausend Ampère durch eine Metallstange geschickt wird, so werden gerade so wie bei Strömen von hohen Frequenzen, überraschende Erscheinungen der Impedanz beobachtet. Es ist aber natürlich evident, daß man mit Strömen niedriger Frequenz unmöglich eine so große Stromänderung in der Zeiteinheit erreichen kann, wie mit hohen Frequenzen, daher sind die mit letzteren erzeugten Wirkungen viel hervorragender. Es erschien angemessen, die vorstehenden Bemerkungen zu machen, um so mehr als viele in jüngster Zeit beschriebenen Effekte unverständiger Weise hohen Frequenzen zugeschrieben wurden. Die Frequenz allein hat in Wirklichkeit nichts zu bedeuten, außer wenn es sich um eine ungestörte harmonische Oszillation handelt.

In dem Zweigstromkreise *IIIb* ist eine analoge Anordnung dargestellt wie in *Ib* mit dem Unterschiede jedoch, daß die durch die Funkenstrecke *dd* sich

entladenden Ströme benutzt werden, um in dem Sekundärkreise S eines Transformators T Ströme zu induzieren. In solchem Falle sollte der Sekundärkreis mit einem regulierbaren Kondensator versehen sein zu dem Zwecke, um ihn auf den Primärkreis abzustimmen.

Der Zweig *Iib* stellt eine Methode der Umwandlung von Wechselströmen hoher Frequenz dar, die sehr häufig benutzt wird und sich als sehr zweckmäßig erwiesen hat. Diese Methode ist bei früheren Gelegenheiten ausführlich behandelt worden und braucht hier nicht beschrieben zu werden.

Einige dieser Resultate wurden mit Hülfe einer Wechselstrommaschine von hoher Frequenz erhalten. Eine Beschreibung dieser Maschinen findet man in meinem ursprünglichen Vortrage vor dem American Institute of Electrical Engineers und in den Fachblättern jener Zeit, insbesondere in „The Electrical Engineer“ vom 18. März 1891.

Ich werde nunmehr zu den Versuchen übergehen.

Über die durch elektrostatische Kraft erzeugten Erscheinungen.

DIE ERSTE KLASSE VON WIRKUNGEN, DIE ICH IHNEN VORZUFÜHREN GEDENKE, sind solche, welche durch elektrostatische Kraft erzeugt werden. Dies ist die Kraft, welche die Bewegung der Atome beherrscht, welche dieselben zur Kollision treibt und dadurch die lebenerhaltende Energie von Wärme und Licht erzeugt, und, in Übereinstimmung mit den phantasievollen Plänen der Natur, auf unendlich viele verschiedene Arten sich verbinden und alle jene wunderbaren Gebilde, die wir um uns her wahrnehmen, gestalten läßt; sie ist in der That, wenn unsere gegenwärtige Auffassung richtig ist, die wichtigste Kraft in der Natur, die wir zu betrachten haben. Da das Wort *elektrostatisch* einen konstanten elektrischen Zustand voraussetzen könnte, so muß bemerkt werden, daß bei diesen Versuchen die Kraft nicht konstant ist, sondern sich etwa eine Million Mal in der Sekunde ändert, eine Geschwindigkeit, die immerhin noch als mäßig zu erachten ist. Dies setzt mich in den Stand, Wirkungen hervorzu- bringen, welche mit einer unveränderlichen Kraft nicht zu erzielen sein würden.

Werden zwei leitende Körper isoliert und elektrisiert, so sagen wir, daß eine elektrostatische Kraft zwischen beiden wirkt. Diese Kraft äußert sich durch Anziehungen, Abstoßungen und Druckerscheinungen in den Körpern und dem Raume oder Medium außer ihnen. So groß kann der in der Luft oder in dem die beiden leitenden Körper trennenden Medium ausgeübte Druck sein, daß dasselbe durchschlagen wird und wir Funken oder Lichtbüschel wahrnehmen können. Diese Lichtströmungen treten in großer Fülle auf, wenn die Kraft durch die Luft hindurch sich rasch ändert. Ich werde diese Wirkung der elektrostatischen Kraft an einem neuen Experimente zeigen und benutze dazu die vorher erwähnte Induktionsspule. Die Spule ist in einem mit Öl gefüllten Kasten enthalten, der sich unter dem Tische befindet. Die beiden Enden des sekundären Drahtes gehen durch die beiden dicken Hartgummisäulen, welche etwas über den Tisch hinausragen, hindurch. Es ist notwendig, die Enden des sekundären Kreises sehr stark mit Hartgummi zu isolieren, da selbst trockenes Holz für diese Ströme von enormen Spannungsdifferenzen ein bei weitem zu schwacher Isolator ist. Auf das eine Ende der Spule ist eine größere Kugel aus Messingblech gesetzt, welche mit einer größeren isolierten Messingplatte in

Verbindung steht, um das Experiment unter Verhältnissen ausführen zu können, die, wie Sie sehen werden, für diesen Versuch geeigneter sind. Ich setze nun die Spule in Tätigkeit und nähere dem freien Ende einen metallischen Gegenstand, den ich in der Hand halte, und zwar letzteres einfach deshalb, um Verbrennungen zu vermeiden. Sobald ich den metallischen Gegenstand bis auf eine Entfernung von 200 bis 500 mm nähere, bricht ein Strom sprühender Funken aus dem Ende des durch die Hartgummisäule hindurchgehenden sekundären Drahtes hervor. Die Funken hören auf, wenn das Metall in meiner Hand den Draht berührt. Mein Arm wird nun von einem mächtigen elektrischen Strome durchflossen, der ungefähr eine Million Schwingungen in der Sekunde macht. Die elektrostatische Kraft macht sich Rings um mich her fühlbar und Luftmoleküle und herumfliegende Staubteilchen werden influenziert [influiert] und hämmern heftig gegen meinen Körper. So groß ist diese Hin- und Herbewegung der Teilchen, daß, wenn die Lichter ausgedreht werden, Sie Ströme von schwachem Licht an einigen Stellen meines Körpers erscheinen sehen. Wenn ein solcher Strom an irgend einem Teile des Körpers ausbricht, verursacht er ein Gefühl wie das von Nadelstichen. Wäre die Spannung genügend hoch und die Frequenz der Schwingungen ziemlich niedrig, so würde die Haut wahrscheinlich unter dem fürchterlichen drucke platzen und das Blut würde mit großer Gewalt in Form eines feinen Regens oder eines dünnen fast unsichtbaren Strahles hervorspritzen, ähnlich dem Öle, wenn es auf den positiven Pol einer *Holtz'schen* Maschine gesetzt wird. Das Platzen der Haut, obwohl es auf den ersten Blick unmöglich zu sein scheint, tritt vielleicht ein, weil die Gewebe unter der Haut unvergleichlich bessere Leiter sind. Mindestens erscheint dies, nach gewissen Beobachtungen zu urteilen, wahrscheinlich.

Ich kann diese Lichtströme allen sichtbar machen, wenn ich mit dem metallischen Gegenstande wie vorher die eine der Klemmen berühre und meine freie Hand der mit dem zweiten Ende der Spule verbundenen Messingkugel nähere. Sobald die Hand genähert wird, wird die Luft zwischen ihr und der Messingkugel oder in der unmittelbaren Nähe in heftigere Bewegung versetzt und man sieht Lichtströme aus den Fingerspitzen und der ganzen Hand hervorbrechen (Fig. 5). Würde ich die Hand noch mehr nähern, so würden mächtige Funken von der Messingkugel nach meiner Hand überspringen, die höchst unangenehm sein könnten. Die Strömungen verursachen keine besondere Unbehaglichkeit, außer daß man in den äußersten Fingerspitzen ein brennendes Gefühl hat. Dieselben dürfen nicht mit den von einer Influenzmaschine hervorgebrachten verwechselt werden, da sie sich in vielen Beziehun-

gen verschieden verhalten. Ich habe die Messingkugel und Platte an dem einen der Pole angebracht, um die Bildung sichtbarer Ströme an diesem Pole zu verhindern, sowie auch um zu verhüten, daß Funken in beträchtlicher Entfernung überspringen. Außerdem ist diese Einrichtung günstig für das Funktionieren der Spule.

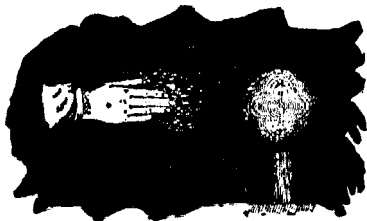


Fig. 5.

Die Lichtströme, die Sie von meiner Hand ausgehen sahen, rühren von einer Spannung von etwa 200'000 Volt her; dieselbe wechselt in ziemlich unregelmäßigen Intervallen, manchmal etwa eine Million Mal in der Sekunde. Wenn man eine Vibration von gleicher Amplitude, aber viermal so schnell, unterhielte, wozu über 3'000'000 Volt erforderlich sein würden, so würde das mehr als

ausreichend sein, um meinen Körper in einen vollständigen Flammenmantel einzuholen. Aber diese Flamme würde mich nicht im geringsten verbrennen; ganz im Gegenteil, wahrscheinlich ist, daß ich in keiner Weise verletzt würde. Und doch würde der hundertste Teil dieser Energie, in anderer Weise angewendet, völlig hinreichen, um einen Menschen zu töten.

Der Betrag der Energie, welcher auf diese Weise in den Körper eines Menschen geschickt werden kann, hängt von der Frequenz und Spannung des Stromes ab, Huhn wenn man diese beiden sehr groß macht, so kann man einen enormen Energiebetrag in den Körper senden, ohne irgend welche Unbehaglichkeit zu verursachen, außer vielleicht in dem Arme, welcher von einem wirklichen Leitungsstrom durchflossen wird. Der Grund, warum kein Schmerz in dem Körper empfunden und keine schädliche Wirkung verspürt wird, ist der, daß überall, wo man sich einen Strom durch den Körper fließen denkt, die Richtung des Stromes rechtwinklig zur Oberfläche steht; demnach bietet der Körper des Experimentators dem Strome einen enormen Querschnitt dar und die Stromdichte ist sehr gering, mit Ausnahme vielleicht des Armes, wo die Dichte beträchtlich sein kann. Wenn aber nur ein kleiner Bruchteil jener Energie in solcher Weise angewendet werden würde, daß ein Strom den Körper ebenso wie ein Strom von geringer Frequenz durchströmt, so würde man einen Schlag empfangen, der tödlich sein könnte. Ein Gleichstrom oder ein Wechselstrom niedriger Frequenz ist meiner Ansicht nach hauptsächlich deshalb tödlich, weil seine Verteilung durch den Körper nicht gleichmäßig ist, da er sich in dünne Strombahnen von großer Dichte teilen

muß, wodurch einige Organe tödlich verletzt werden. Daß ein solcher Vorgang stattfindet, steht für mich unzweifelhaft fest, obwohl offenbar kein Beweis dafür existiert oder durch Untersuchung gefunden wird. Derjenige Strom, welcher am sichersten das Leben gefährdet und vernichtet, ist der Gleichstrom, am schmerzhaftesten aber ist der Wechselstrom von niedriger Frequenz. Ich habe diesen Ansichten, welche das Resultat lange fortgesetzter Versuche und Beobachtungen sowohl mit konstanten wie mit veränderlichen Strömen sind, hier Ausdruck gegeben wegen des Interesses, welches man gegenwärtig an diesem Gegenstande nimmt, und wegen der offenbar irrthümlichen Ideen, die täglich in Journalen über diesen Gegenstand vorgetragen werden.

Ich werde Ihnen eine Wirkung der elektrostatischen Kraft durch ein anderes überraschendes Experiment vorführen, zuvor jedoch muß ich Ihre Aufmerksamkeit auf eine oder zwei Tatsachen lenken. Ich habe vorher gesagt, daß, wenn das Medium zwischen zwei entgegengesetzt elektrisierten Körpern über eine gewisse Grenze hinaus gespannt wird, dasselbe nachgibt und daß sich, populär gesprochen, die entgegengesetzten elektrischen Ladungen vereinigen und einander neutralisieren. Dies Durchschlagen des Mediums erfolgt hauptsächlich, wenn die zwischen den Körpern wirkende Kraft konstant ist, oder mit mäßiger Geschwindigkeit variiert. Wäre die Variation genügend schnell, so würde ein solcher zerstörender Durchbruch nicht eintreten, wie groß auch immer die Kraft sein möge, denn die ganze Energie würde in der Strahlung, Konvektion und mechanischen und chemischen Wirkung verzehrt werden. Daher ist die Schlagweite oder die größte Entfernung, welche ein *Funken* zwischen zwei elektrisierten Körpern überspringt, um so kleiner, je größer die Variation oder die Änderung in der Zeiteinheit ist. Jedoch kann diese Regel nur als im Allgemeinen richtig betrachtet werden, wenn man sehr weit von einander verschiedene Änderungen vergleicht.

Ich werde Ihnen durch einen Versuch den Unterschied in der Wirkung zeigen, welche durch eine rasch variierende und durch eine konstante oder mäßig variierende Kraft hervorgebracht wird. Ich habe hier zwei große kreis-

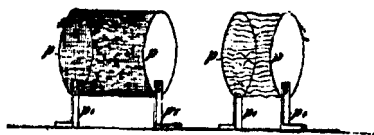


Fig. 6a

Fig. 6b.

förmige Messingplatten *p p* (Fig. 6a und 6b), welche von auf dem Tische beweglichen isolierenden Ständern gehalten werden, die mit den Enden der sekundären Wicklung einer der vorher benutzten ähnlichen Spule verbunden

sind. Ich stelle die Platten 250 bis 300 mm von einander entfernt auf und setze die Spule in Tätigkeit. Sie sehen den ganzen Raum zwischen den Platten, nahezu 57 dm^3 , mit gleichmäßigem Lichte erfüllt (Fig. 6a). Das Licht rührt von den Strömen her, die Sie im ersten versuch gesehen haben, die aber jetzt viel intensiver sind. Ich habe bereits auf ihre noch größere Wichtigkeit in einigen rein wissenschaftlichen Untersuchungen hingewiesen. Sie sind oft zu schwach, um sichtbar zu sein, sie existieren aber stets, verzehren Energie und modifizieren die Wirkung der Apparate. Wenn sie intensiv sind, wie hier erzeugen sie in großer Menge Ozon und auch, worauf Professor *Crookes* aufmerksam gemacht hat, salpetrige Säure. Die chemische Wirkung ist so schnell, daß, wenn eine Spule, wie diese, lange Zeit in Tätigkeit ist, die Atmosphäre eines kleinen Raumes unerträglich wird, da die Augen und der Rachen angegriffen werden. Bei mäßiger Erzeugung erfrischen aber Ströme die Atmosphäre wunderbar gleich einem Gewitter und üben unzweifelhaft eine wohlthuende Wirkung aus.

Bei diesem Versuch ändert sich die zwischen den Platten wirkende Kraft in Intensität und Richtung mit sehr großer Geschwindigkeit. Ich will nun die Änderung per Zeiteinheit viel kleiner machen. Ich erreiche dies, indem ich die Entladungen durch die primäre Wicklung der Induktionsspule weniger zahlreich werden lasse und ferner auch die Schnelligkeit der Vibration in der sekundären Wicklung vermindere. Das erstere Resultat wird bequem durch Erniedrigung der elektromotorischen Kraft über die Luftstrecke im primären Stromkreise, das letztere dadurch erzielt, daß man die beiden Messingplatten bis auf eine Entfernung von etwa 75 bis 100 mm nähert. Wird die Spule in Tätigkeit gesetzt, so sehen Sie keine Strömungen oder kein Licht zwischen den Platten und doch befindet sich das Medium zwischen ihnen unter einem furchtbaren Druck. Ich vermehre den Druck noch weiter durch Erhöhung der Spannung im primären Stromkreise, und sofort sehen Sie, wie die Luft nachgibt und der Saal durch einen Regen von brillanten und geräuschvollen Funken (Fig. 6b) erleuchtet wird. Diese Funken können auch mit einer unveränderlichen Kraft erzeugt werden, dieselben sind eine seit vielen Jahren bekannte Erscheinung, obwohl sie gewöhnlich mit einem ganz verschiedenen Apparate erhalten wurden. Bei der Beschreibung dieser beiden in ihrem Aussehen so ganz verschiedenen Erscheinungen habe ich mit Absicht von einer zwischen den Platten wirkenden „Kraft“ gesprochen. In Übereinstimmung mit den herrschenden Anschauungen müßte man sagen, daß eine „alternierende elektromotorische Kraft“ zwischen den Platten wirksam sei. Dieser Ausdruck würde in allen Fällen passend und anwendbar sein, wo wenigstens die Möglichkeit

einer wesentlichen Abhängigkeit von dem elektrischen Zustande der Platten oder der elektrischen Wirkung in ihrer Nähe ersichtlich wäre. Mögen jedoch die Platten bis zu einer beliebig großen Entfernung auseinander gerückt oder in eine endliche Entfernung von einander gesetzt werden, es besteht keine Wahrscheinlichkeit oder Notwendigkeit irgend welcher Art für eine solche Abhängigkeit. Ich benutze lieber den Ausdruck „elektrostatische Kraft“ und sage, daß eine solche Kraft in der Umgebung jeder Platte oder überhaupt jedes elektrisierten Körpers wirksam ist. Allerdings ist dieser Ausdruck nicht ganz passend angewendet, da derselbe nebenbei einen konstanten elektrischen Zustand bedeutet; indessen dürfte eine geeignete Nomenklatur diese Schwierigkeit schließlich beseitigen.

Ich kehre nun zu dem Versuche zurück, auf welchen ich bereits angespielt habe und mit dem ich eine überraschende durch eine rapid variierende elektrostatische Kraft erzeugte Wirkung vorführen will. Ich befestige an dem einen Ende des Drahtes *l* (Fig. 7), welcher mit einer der Klemmen der sekundären Wickelung der Induktionsspule in Verbindung steht, eine ausgepumpte Glas-
kugel *b*. Diese Kugel enthält einen dünnen Kohlenfaden *f*, welcher an einem Platindraht *w* befestigt ist, der in das Glas eingeschmolzen ist und nach außen führt, wo er mit dem Drahte *l* verbunden ist. Die Kugel kann zu jedem, mit gewöhnlichen Apparaten irgend erreichbaren Grade evakuiert sein. Kurz vorher haben Sie gesehen, wie die Luft zwischen den beiden geladenen Messingplatten durchschlagen wurde. Sie wissen, daß eine Glasplatte oder irgend ein anderes Isoliermaterial gleichfalls durchschlagen werden würde. Hätte ich daher eine metallene Umhüllung an der Außenseite der Kugel angebracht oder in



Fig. 7.

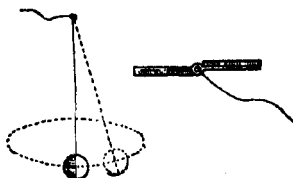


Fig. 8a.

Fig. 8b.

der Nähe derselben aufgestellt, und wäre diese Umhüllung mit der andern Klemme der Spule verbunden, so würden Sie darauf vorbereitet sein zu sehen, daß das Glas nachgibt, wenn der Druck genügend verstärkt wird. Auch wenn die Umhüllung nicht mit der andern Klemme, sondern mit einer isolierten Platte verbunden wäre, würden Sie, wenn Sie den letzten Entwicklungen gefolgt sind, natürlich einen Bruch des Glases erwarten.

Es wird Sie aber sicherlich überraschen zu sehen, daß das Glas unter der Wirkung der variierenden elektrostatischen Kraft auch nachgibt, wenn sämtliche andern Körper von der Kugel entfernt werden. In der Tat könnten alle umgebenden Körper, die wir hier sehen, in unendliche Entfernung gerückt werden, ohne daß dadurch das Resultat im geringsten beeinflußt würde. Wenn die Spule in Tätigkeit gesetzt ist, wird das Glas jedesmal an der Zuschmelzstelle oder jedem andern engen Kanal durchbrochen und das Vakuum rasch verschlechtert. Ein solches schädliches Durchschlagen würde bei einer konstanten Kraft nicht vorkommen, selbst wenn dieselbe vielmal größer wäre. Der Durchbruch rührt her von der heftigen Bewegung der Gasmoleküle innerhalb und außerhalb der Kugel. Diese Bewegung, welche im Allgemeinen in dem engen zugespitzten Kanal an der Zuschmelzstelle am heftigsten ist, verursacht eine Erwärmung und das Zerspringen des Glases. Dieses Zerspringen würde jedoch nicht eintreten, nicht einmal bei einer veränderlichen Kraft, wenn das innere der Kugel erfüllende und das dieselbe umgebende Medium vollkommen homogen wären. Der Bruch tritt viel schneller ein, wenn das obere Ende der Kugel in einen feinen Faden ausgezogen wird. Bei Kugeln, welche in Verbindung mit solchen Spulen benutzt werden, müssen daher solche engen spitz zulaufenden Kanäle vermieden werden.

Wird ein leitender Körper in Luft oder ein anderes ähnliches Medium eingetaucht, welches aus frei beweglichen elektrisierbaren Teilchen besteht oder solche enthält, und wird die Elektrisierung einem sehr raschen Wechsel unterworfen — oder was dasselbe sagen will, verändert die um den Körper herum wirksame elektrostatische Kraft ihre Intensität —, so werden die kleinen Teilchen angezogen und abgestoßen und ihr heftiges Anprallen an den Körper kann eine mechanische Bewegung des letzteren veranlassen. Erscheinungen dieser Art sind insofern bemerkenswert, als dieselben früher mit den gebräuchlichen Apparaten nicht beobachtet worden sind. Wenn eine die kleinen Massenteilchen, Moleküle oder Atome, gleichmäßig verteilt wären, würde keine Bewegung der Kugel erfolgen. Wird aber die eine Seite der leitenden Kugel mit einer dicken isolierenden Schicht bedeckt, so wird der Anprall der Teilchen bewirken, daß sich die Kugel herumbewegt und zwar im Allgemei-

nen in unregelmäßigen Kurven (Fig. 8a). In ähnlicher Weise würde, wie ich bei einer früheren Gelegenheit gezeigt habe, ein Flügel aus Metallblech (Fig. 8b), der, wie angedeutet, teilweise mit einem isolierenden Material bedeckt und auf den Pol der Spule gesetzt ist, so daß er sich auf demselben frei bewegen kann, sich rasch herumdrehen.

Alle diese Erscheinungen, die Sie mit angesehen haben, und andere, die später gezeigt werden sollen, sind eine Folge des Vorhandenseins eines Mediums wie Luft und würden in einem zusammenhängenden Medium nicht stattfinden. Die Wirkung der Luft kann noch besser durch folgenden Versuch erläutert werden. Ich nehme einen Glaszylinder t (Fig. 9) von etwa 25 mm Durchmesser, an dessen unterem Ende ein Platindraht w eingeschmolzen ist, an welchem ein dünner Lampenfaden f befestigt ist. Ich verbinde den Draht mit dem einen Pol der Spule und setze die Spule in Tätigkeit. Der Platindraht wird nun in schneller Aufeinanderfolge positiv und negativ elektrisch und der Draht und die Luft innerhalb des Zylinders werden durch das Anprallen der Teilchen erhitzt, und zwar kann dieses Anprallen so heftig sein, daß der Kohlenfaden glühend wird. Wenn ich aber Öl in den Zylinder gieße, so hört in demselben Augenblicke, als der Draht von dem Öle bedeckt wird, alle Wirkung scheinbar auf und es tritt keine merkliche Erwärmung ein. Der Grund hiervon ist der, daß das Öl ein praktisch kontinuierliches Medium ist. Die Verschiebungen in einem solchen kontinuierlichen Medium sind bei diesen Frequenzen allem Anschein nach unvergleichlich kleiner als in Luft, so daß die in einem solchen Medium geleistete Arbeit unbedeutend ist. Bei vielmal größeren Frequenzen würde sich Öl aber sehr verschieden verhalten, da, wenn auch die Verschiebungen nur klein sind, bei viel größeren Frequenzen in dem Öle eine beträchtliche Arbeit geleistet werden könnte.

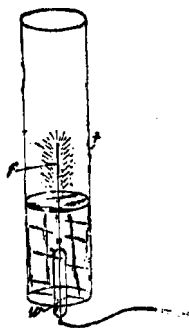


Fig. 9.

Die elektrostatischen Anziehungen und Abstoßungen zwischen Körpern von meßbaren Dimensionen sind von allen Äußerungen dieser Kraft die ersten sogenannten *elektrischen* Erscheinungen, die beobachtet wurden. Obwohl uns dieselben seit vielen Jahrhunderten bekannt sind, ist uns doch die genaue Natur des in diesen Wirkungen sich äußernden Mechanismus noch unbekannt und ist bisher nicht einmal befriedigend erklärt worden. Was für eine Art von Mechanismus muß das sein? Wir müssen aufs Höchste erstaunen, wenn wir beobachten, wie sich zwei Magnete mit einer Kraft von Hunderten von Kilo-

grammen anziehen oder abstoßen, ohne daß anscheinend etwas zwischen ihnen ist. Wir haben in unsern in den Handel kommenden Dynamomaschinen Magnete, die im Stande sind, einige tausend Kilogramm Gewicht mitten in der Luft schwebend zu erhalten. Aber was sind selbst diese zwischen Magneten wirkenden Kräfte verglichen mit den enormen Anziehungen und Abstoßungen, welche durch elektrostatische Kraft erzeugt werden, für welche es bezüglich ihrer Intensität anscheinend keine Grenze gibt! Bei Blitzentladungen werden Körper oft zu so hohem Potential geladen, daß sie mit unbegreiflicher Gewalt fortgeschleudert oder auseinandergerissen oder in Stücke zertrümmert werden. Und doch können sich solche Wirkungen noch nicht vergleichen mit den Anziehungen und Abstoßungen, welche zwischen geladenen Molekülen und Atomen bestehen und die hinreichen, um dieselben mit Geschwindigkeiten von vielen Kilometern in der Sekunde fortzuschleudern, so daß unter ihrem heftigen Anprall Körper zur höchsten Glut gebracht und verflüchtigt werden. Es ist für den Denker, der in das Wesen dieser Kräfte einzudringen sucht, hochinteressant zu bemerken, daß, während die Wirkungen zwischen einzelnen Molekülen oder Atomen scheinbar unter allen Verhältnissen eintreten, die Anziehungen und Abstoßungen zwischen Körpern von meßbaren Dimensionen ein Medium voraussetzen, welches isolierende Eigenschaften besitzt. So hören z. B., wenn Luft entweder durch Verdünnung oder durch Erwärmung zu einem mehr oder weniger leitenden Körper gemacht wird, diese Wirkungen zwischen zwei elektrisierten Körpern praktisch auf, während die Wirkungen zwischen den einzelnen Atomen fortfahren sich zu äußern.

Ein Versuch mag zur Erläuterung und zugleich als Mittel dienen, andere interessante Eigentümlichkeiten ans Licht zu bringen. Vor einiger Zeit zeigte ich, daß ein in einer Glasbirne angebrachter und mit dem einen Pole des Sekundärkreises einer Spule hoher Spannung verbundener Kohlenfaden oder Draht sich herumdrehte, indem die Spitze des Fadens im Allgemeinen einen Kreis beschrieb. Diese Schwingung war sehr energisch, wenn die Luft in der Glasbirne unter gewöhnlichem Drucke sich befand, und wurde weniger energisch, wenn die Luft in der Birne stark komprimiert wurde. Dieselbe hörte ganz auf, wenn die Luft verdünnt wurde, so daß sie ein verhältnismäßig guter Leiter wurde. Ich fand zu gleicher Zeit, daß keine Schwingung stattfand, wenn die Glasbirne sehr stark evakuiert war. Aber ich vermutete, daß die Schwingung, welche ich der elektrostatischen Wirkung zwischen den Wänden der Birne und dem Kohlenfaden zuschrieb, auch in einer stark ausgepumpten Glasbirne eintreten müsse. Um dies unter günstigeren Verhältnissen zu prü-

fen, wurde eine Glasbirne wie die in Fig. 10 dargestellte angefertigt. Dieselbe bestand aus einer Kugel b , in deren Hals ein Platindraht w eingeschmolzen war, der einen dünnen Kohlenfaden f trug. In dem unteren Teile der Kugel war eine Röhre t eingeschmolzen, welche den Faden umgab. Das Auspumpen wurde so weit getrieben, als es mit dem angewendeten Apparate ausführbar war.

Diese Birne bestätigte meine Erwartung, denn der Faden fing beim Einschalten des Stromes an, sich zu drehen und wurde glühend. Sie zeigte noch eine andere interessante auf die vorhergehenden Bemerkungen bezügliche Eigentümlichkeit; wenn nämlich der Faden eine Zeit lang glühend erhalten wurde, so wurden die enge Röhre und der Raum innerhalb auf eine hohe Temperatur gebracht, und da das Gas in der Röhre alsdann leitend wurde, so wurde die elektrostatische Attraktion zwischen den Glase und dem Faden sehr schwach oder hörte auf und der Faden kam zur Ruhe. Wenn er zur Ruhe gekommen war, glühte er noch weit intensiver. Dies rührte wahrscheinlich davon her, daß er diejenige Lage mitten in der Röhre einnahm, wo das Bombardement der Moleküle am intensivsten war, und zum Teil auch von der Tatsache, daß der Anprall der einzelnen Moleküle heftiger war und kein Teil der zugeführten Energie in mechanische Bewegung verwandelt wurde. Da nach den landläufigen Ansichten bei diesem Versuch das Glühen dem Anprallen der Partikeln, Moleküle oder Atome in dem erhitzten Raume zugeschrieben werden müßte, so müßte man somit annehmen, um eine solche Wirkung zu erklären, daß diese Partikeln sich wie unabhängige in einem isolierenden Medium befindliche Träger elektrischer Ladungen verhalten; und doch besteht keine anziehende Kraft zwischen der Glasröhre und dem Faden, da der Raum in der Röhre als Ganzes leitend ist.

Im Zusammenhange hiermit ist es interessant zu bemerken, daß während die Anziehung zwischen zwei elektrisierten Körpern infolge der Schwächung der isolierenden Kraft des Mediums, in welchem sie sich befinden, aufhören kann, die Abstoßung zwischen den Körpern sich noch beobachten läßt. Dies läßt sich in plausibler Weise erklären. Werden die Körper in einiger Entfernung von einander in ein schwach leitendes Medium, wie z. B. wenig erwärmte oder verdünnte Luft gestellt und plötzlich elektrisiert, wobei ihnen entgegengesetzte elektrische Ladungen mitgeteilt werden, so gleichen sich diese Ladungen infolge Zerstreung durch die Luft mehr oder weniger aus. Werden die Körper aber gleichartig elektrisiert, so

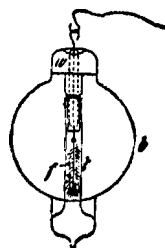


Fig. 10.

ist für eine solche Zerstreuung weniger Gelegenheit gegeben und daher ist die in solchem Falle beobachtete Abstoßung größer als die Anziehung. Abstoßende Wirkungen in einem gasförmigen Medium werden jedoch, wie Prof. *Crookes* gezeigt hat, durch das Bombardement der Moleküle verstärkt.

Über Erscheinungen strömender oder dynamischer Elektrizität.

BISHER HABE ICH HAUPTSÄCHLICH WIRKUNGEN BETRACHTET, WIE SIE DURCH eine variierende elektrostatische Kraft in einem isolierenden Medium, z. B. Luft erzeugt werden. Wirkt eine solche Kraft auf einen leitenden Körper von meßbaren Dimensionen, so verursacht sie innerhalb desselben oder an seiner Oberfläche Verschiebungen der Elektrizität und veranlaßt elektrische Ströme und diese bringen eine andere Art von Erscheinungen hervor, von denen ich Ihnen einige vorzuführen beabsichtige. Bei der Vorführung dieser zweiten Klasse elektrischer Wirkungen werde ich hauptsächlich diejenigen berücksichtigen, welche ohne jede Rückleitung für den Strom ausführbar sind, wobei ich Ihr Interesse um so mehr zu erregen hoffe, als ich diese Erscheinungen unter einem mehr oder weniger neuen Gesichtspunkte zu Darstellung bringen werde.

Es ist lange Zeit hindurch, infolge der beschränkten Erfahrung mit vibrierenden Strömen, üblich gewesen, einen elektrischen Strom als etwas zu betrachten, das in einem geschlossenen Leiterkreise zirkuliert. Man erstaunte

dann zuerst, wenn man sich vorstellen sollte, daß ein Strom auch durch den Leiterkreis fließen könne, wenn der letztere unterbrochen wäre, und noch überraschender war es zu erfahren, daß es zuweilen leichter sein könne, einen Strom unter solchen Umständen zu erzeugen, als in einem geschlossenen Leiter. Jene alte Anschauung verschwindet jedoch selbst unter den Praktikern immer mehr und dürfte bald ganz vergessen sein.

Verbinde ich eine isolierte Metallplatte *P* (Fig. 11) mit dem einen Pol *T* der Induktionsspule durch einen Draht, so wird, wenn die Spule in Tätigkeit gesetzt ist, durch den Draht ein Strom fließen, mag die Platte auch noch so gut isoliert sein. Zunächst will ich nachweisen, daß wirklich ein Strom durch den Verbindungsdraht hindurchgeht. Ein bequemer weg, dies zu zeigen, besteht darin, daß man zwischen den Pol der Spule und die isolierte Platte einen sehr

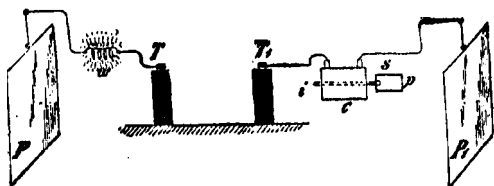


Fig. 11.

dünnen Platin- oder Neusilberdraht w einschaltet und den letzteren durch den Strom zum Glühen oder Schmelzen bringt. Dies erfordert eine ziemlich große Platte oder auch Stromimpulse von sehr hoher Spannung und Frequenz. Ein anderes Verfahren besteht darin, daß man eine, viele Windungen dünnen isolierten Drahtes enthaltende Spule C (Fig. 11) nimmt und dieselbe in die Strombahn zur Platte einschaltet. Verbinde ich das eine Ende der Spule mit dem zu einer andern isolierten Platte P_1 führenden Drahte und das andere Ende mit dem Pole T_1 der Induktionsspule und setze letztere in Tätigkeit, so geht ein Strom durch die eingeschaltete Spule C und das Vorhandensein desselben läßt sich auf verschiedene Weisen zeigen. Ich schiebe z. B. einen Eisenkern i in die Spule. Ist der Strom von hoher Frequenz, so wird er bei einiger Stärke bald den Eisenkern auf eine merklich höhere Temperatur bringen, da die Hysteresis- und Stromverluste bei so hohen Frequenzen groß sind. Man könnte einen Kern von einigem Umfange nehmen, wobei es wenig ausmacht, ob er unterteilt ist, oder nicht, aber gewöhnlicher Eisendraht von 1,5 bis 3,5 mm Stärke ist für diesen Zweck recht gut geeignet. Während die Induktionsspule in Tätigkeit ist, durchfließt ein Strom die eingeschaltete Spule und es bedarf nur weniger Augenblicke, um den Eisendraht i zu einer hohen Temperatur zu bringen, die ausreicht, um den Siegellack s zu erweichen und ein mit ihm an dem Eisendraht befestigtes Papierscheibchen abfallen zu lassen. Aber mit dem Apparat, wie ich ihn hier habe, können andere viel interessantere Versuche dieser Art ausgeführt werden. Ich habe hier eine sekundäre Spule s (Fig. 12) aus dickem Draht, die auf eine der ersten ähnliche Spule gewickelt ist. In dem vorhergehenden Versuche war der Strom durch die Spule C (Fig. 11) sehr klein, da die Spule jedoch aus vielen Windungen bestand, so wurde doch in dem Eisendraht eine starke Wärmewirkung erzeugt. Hätte ich jenen Strom durch einen Leiter gesandt, um die Erwärmung des letzteren zu zeigen, so würde vielleicht der Strom zu gering gewesen sein, um die gewünschte Wirkung hervorzubringen. Mittels der jetzigen mit einer sekundären Wickelung versehenen Spule kann ich nun den durch die Primärspule P gehenden schwachen Strom hoher Spannung in einen starken sekundären Strom niedriger Spannung transformieren und dieser Strom wird ganz sicher das leisten, was ich will. In einen kleinen Glaszylinder t (Fig. 12) habe ich einen spiralförmig gewundenen Platindraht w eingeschlossen, wobei der Zylinder bloß zum Schutze des Drahtes dient. An jedem Ende des Glaszylinders ist ein Stück starken Drahtes eingeschmolzen, an welches je ein Ende des Platindrahtes w angeschlossen ist. Ich verbinde die Enden der sekundären Wickelung P zwischen die isolierte Platte P_1 und den Pol T_1 der Induktionsspule. Wird die letz-

tere in Tätigkeit gesetzt, so wird der Platindraht w augenblicklich glühend und kann, auch wenn er ziemlich dick ist, geschmolzen werden.

Anstatt des Platindrahtes nehme ich jetzt eine gewöhnliche 16-kerzige Lampe zu 50 Volt. Wird die Induktionsspule in Tätigkeit gesetzt, so wird der Kohlenfaden der Lampe

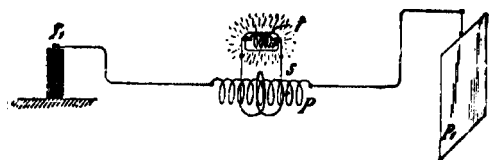


Fig. 12.

hochglühend. Man braucht indessen nicht die isolierte Platte zu benutzen, da die Lampe l (Fig. 13) auch glühend wird, wenn die Platte P_1 abgeschaltet wird. Die sekundäre Spule kann auch, wie in der Fig. 13 durch die punktierte Linie angedeutet ist, mit der primären verbunden werden, um die elektrostatische Induktion mehr oder weniger zu beseitigen oder die Wirkung sonstwie zu modifizieren.

Ich möchte hier Ihre Aufmerksamkeit auf eine Anzahl interessanter Beob-

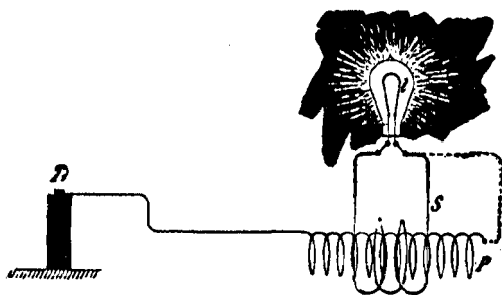


Fig. 13.

achtungen mit der Lampe lenken. Zunächst löse ich die Verbindung des einen Poles der Lampe mit der sekundären Wickelung S . Wenn die Induktionsspule in Tätigkeit ist, so bemerkt man ein Glühen, welches die ganze Glasbirne ausfüllt. Dieses Glühen rührt von der elektrostatischen Induktion her. Es wächst, wenn man die Birne mit der Hand anfaßt und die Kapazität des Körpers des Experimentators auf diese Weise zu dem sekundären Stromkreise hinzukommt. Die sekundäre Wickelung ist in der Tat einer metallischen Umhüllung äquivalent, welche in der Nähe der primären Wickelung angebracht würde. Wäre die sekundäre Wickelung, oder ihr Äquivalent die Umhüllung,

symmetrisch zur primären Wicklung angeordnet, so würde die elektrostatische Induktion unter gewöhnlichen Bedingungen, d. h. wenn eine primäre Rückleitung benutzt würde, gleich Null sein, da sich beide Hälften gegenseitig neutralisieren würden. Tatsächlich ist die sekundäre Wicklung symmetrisch zur primären angeordnet, aber die Wirkung beider Hälften der letzteren ist, wenn nur eins ihrer Enden mit der Induktionsspule verbunden ist, nicht genau gleich; daher findet elektrostatische Induktion statt und somit glüht die Lampenbirne. Ich kann die Wirkung beider Hälften der primären Wicklung nahezu gleich machen; indem ich das andere freie Ende derselben mit der isolierten Platte, wie bei dem vorigen Versuch, verbinde. Ist dies geschehen, so hört das Glühen auf. Bei einer kleineren Platte würde dasselbe jedoch nicht vollständig verschwinden, vielmehr würde es bei geschlossener sekundärer Wicklung dazu beitragen, den Glanz des Kohlenfadens durch Erwärmung der Luft in der Birne zu verstärken.

Um eine andere interessante Erscheinung zu zeigen, habe ich die benutzten Spulen in bestimmter Weise reguliert. Ich verbinde zunächst beide Pole der Lampe mit der sekundären Spule, während das eine Ende der primären Spule mit dem Pole T_1 der Induktionsspule und das andere mit der isolierten Platte P_1 verbunden ist, wie vorher. Wird der Strom eingeschaltet, so glüht die Lampe hell auf, wie in Fig. 14b dargestellt ist, in welcher C eine Spule aus dünnem Draht und S eine über dieselbe gewundene sekundäre Spule aus dickem Draht ist. Wird die isolierte Platte P_1 losgetrennt, indem das eine Ende a der primären Spule isoliert bleibt, so wird der Kohlenfaden dunkel oder nimmt wenigstens im Allgemeinen an Glanz ab (Fig. 14a). Verbindet man wiederum die Platte P_1 und steigert die Frequenz des Stromes, so wird der Faden vollkommen dunkel oder kaum rot (Fig. 15b). Ich trenne nochmals die Platte ab. Man wird dann natürlich schließen, daß, nachdem die Platte losgetrennt ist, der Strom durch die primäre Spule schwächer wird, daß somit die Spannung in der sekundären Spule S fällt und die Helligkeit der Lampe geringer wird. Dies ist möglich und kann durch eine leichte Regulierung der Spulen, sowie auch durch Variierung der Frequenz und Spannung der Ströme erreicht werden. Es ist aber vielleicht von größerem Interesse zu sehen, daß die Helligkeit der Lampe zunimmt, wenn die Platte losgelöst wird (Fig. 15a). In diesem Falle ist die gesamte Energie, welche die Primärspule erhält, in derselben verteilt gleich der Ladung einer Batterie in einem Ozeankabel, der größte Teil dieser Energie wird jedoch mittels der sekundären Spule wieder erhalten und zur Beleuchtung der Lampe verwendet. Der die primäre Spule durchfließende Strom ist am stärksten an dem mit dem Pole T_1 der Induktionsspule verbundenen Ende

b und nimmt nach dem entfernteren Ende a hin an Stärke ab. Die dynamische induktive Wirkung, welche auf die sekundäre Wicklung S ausgeübt wird, ist jedoch jetzt größer als zuvor, wo die aufgehängte Platte mit der primären Spule verbunden war. Diese Resultate könnten durch eine Reihe von Ursachen hervorgebracht sein. Z. B. kann, wenn die Platte P_1 angeschlossen ist, die Rückwirkung von der Spule C derart sein, daß sie die Spannung an dem Pole T_1 der Induktionsspule verringert und daher den Strom durch den Primärkreis der Spule C schwächt. Oder die Abtrennung der Platte kann die Kapazitätswirkung bezüglich der primären Wicklung der letzteren Spule in solchem Grade vermindern, daß der dieselbe durchfließende Strom verringert wird, obwohl die Spannung an der Klemme T_1 der Induktionsspule dieselbe oder noch höher sein kann. Oder das Resultat könnte auch durch die Änderung der Phase des primären und sekundären Stromes und die daraus sich ergebende Reaktion verursacht sein. Die Hauptbestimmungsfaktoren sind jedoch das Verhältnis der Selbstinduktion und Kapazität der Spule C und Platte P_1 und die Frequenz der Ströme. Die größere Helligkeit des Fadens in Fig. 15a rührt indessen zum Teil von der Erwärmung des verdünnten Gases in der Lampe infolge elektrostatischer Induktion her, welche wie vorher bemerkt, größer ist, wenn die aufgehängte Platte losgetrennt ist.

Noch auf eine andere Erscheinung von einigem Interesse will ich Sie hier noch aufmerksam machen. Wird die isolierte Platte abgetrennt und der Sekundärkreis der Spule geöffnet, so können, wenn man der sekundären Spule einen kleinen Gegenstand nähert, nur sehr kleine Funken aus derselben gezogen werden, woraus hervorgeht, daß die elektrostatische Induktion in diesem Falle gering ist. Wird jedoch die sekundäre Wicklung in sich oder durch die Lampe geschlossen, wobei der Kohlenfaden hell glüht, so werden starke Funken

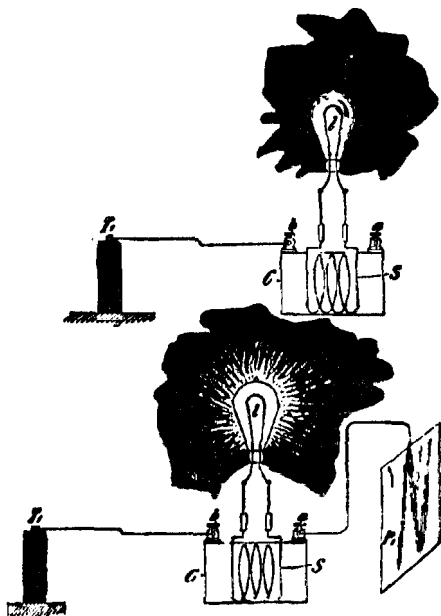


Fig. 14a und Fig. 14b.

aus der sekundären Wickelung erhalten. Die elektrostatische Induktion ist jetzt viel größer, weil die geschlossene Sekundärspule einen größeren Stromfluß durch die primäre Spule und hauptsächlich durch jene Hälfte derselben, welche mit der Induktionsspule verbunden ist, zur Folge hat. Faßt man jetzt die Lampenbirne mit der Hand an, so wird die Kapazität der sekundären Spule in Bezug auf die primäre durch den Körper des Experimentators vergrößert und die Leuchtkraft des Kohlenfadens verstärkt, und zwar ist das Glühen desselben zum Teil dem Stromfluß durch den Faden und zum Teil dem Bombardement der Moleküle des verdünnten Gases in der Lampenbirne zuzuschreiben.

Die vorhergehenden Versuche werden auf die nächstfolgenden interessanten Resultate, welche im Laufe dieser Untersuchungen erhalten wurden, vorbereitet haben. Da ich einen Strom durch einen isolierten Eisendraht senden kann, indem ich bloß das eine Ende desselben mit der Quelle der elektrischen Energie verbinde, da ich durch diesen einen andern Strom zu induzieren, einen Eisenkern zu magnetisieren, kurz alle Operationen auszuführen im Stande

bin, gleich als ob eine Rückleitung benutzt würde, so werde ich offenbar auch einen Motor mit Hülfe nur eines Drahtes betreiben können. Bei früherer Gelegenheit habe ich eine einfache Form eines Motors beschrieben, der nur aus einer einzigen Erregungsspule, einem Eisenkern und einer Scheibe besteht. Fig. 16 stellt eine modifizierte Methode der Betätigung eines solchen Wechselstrommotors durch Ströme, die in einem an eine einzige Leitung angeschlossenen Transformator induziert werden, sowie mehrere andere Anordnungen von Stromkreisen zum Betriebe einer gewissen auf der Wirkung der Ströme von verschiedener Phase beruhenden Klasse von Wechselstrommotoren dar. Mit Rücksicht

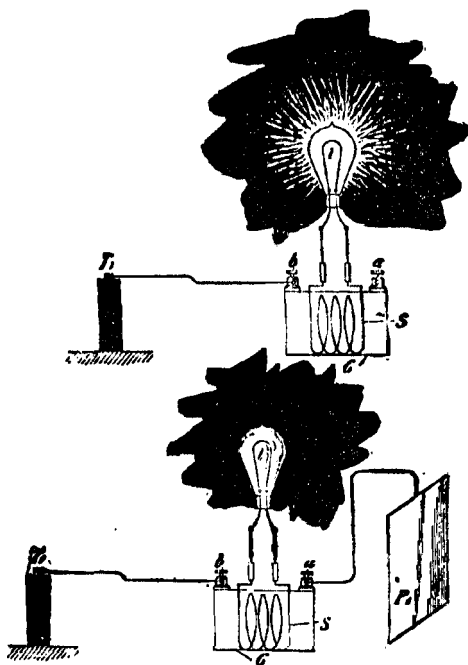


Fig. 15a und Fig. 15b.

auf den gegenwärtigen Stand der Technik wird es genügen, diese Anordnungen nur mit ein paar Worten zu beschreiben. Das Diagramm Fig. 16 II zeigt eine primäre Spule P , welche mit einem ihrer Enden an die von der einen Klemme T_1 eines Hochspannungstransformators ausgehende Leitung L angeschlossen ist. In induktiver Beziehung zu dieser Primärspule P steht eine sekundäre Spule S aus dickem Drahte, in deren Stromkreis sich eine Spule c befindet. Die in der sekundären Spule induzierten Ströme magnetisieren den Eisenkern i , der am besten, jedoch nicht notwendig, unterteilt ist, und setzen die Metallscheibe d in Rotation. Ein solcher Motor M_2 , wie er in Fig. 16 II schematisch dargestellt ist, ist ein „durch magnetische Trägheit wirkender Motor“ genannt worden, doch kann gegen diesen Ausdruck von denjenigen Einspruch erhoben werden, welche die Rotation der Scheibe den Wirbelströmen zuschreiben, die in kleinen Bahnen zirkulieren, wenn der Kern i in eine endliche Anzahl von Teilen geteilt ist. Um einen solchen Motor in der angegebenen Weise erfolgreich zu betreiben, sollten die Frequenzen nicht zu hoch sein, nicht mehr als vier oder fünf Tausend per Sekunde, obwohl eine Rotation auch bei Frequenzen von zehn Tausend per Sekunde oder mehr noch hervorgebracht wird.

In Fig. 16 I ist ein Motor M_1 mit zwei Erregungsstromkreisen A und B schematisch dargestellt. Der Stromkreis A ist mit der Leitung L verbunden und in Serie mit ihm befindet sich eine primäre Spule P , deren freies Ende mit einer isolierten Platte $P1$ verbunden sein kann, was durch die punktierten Linien angedeutet ist. Der andere Motorstromkreis B ist mit der sekundären Spule S verbunden, welche mit der primären Spule P in induktiver Beziehung steht. Wird der Transformator T_1 alternierend elektrisch

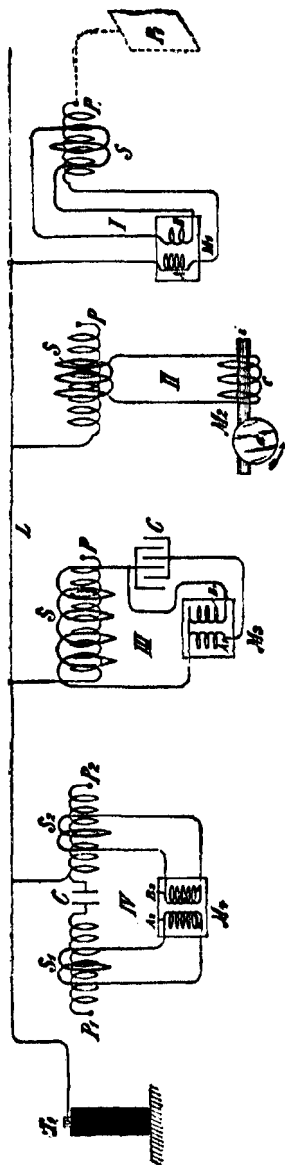


Fig. 16.

siert, so durchfließen Ströme die offene Leitung L und ebenso den Stromkreis A und die primäre Spule P . Die durch letztere fließenden Ströme induzieren in dem Stromkreise S sekundäre Ströme, welche durch die Erregungsspule B des Motors gehen. Die Ströme durch die sekundäre Spule S und diejenigen durch die primäre Spule P haben einen Phasenunterschied von 90° oder nahezu 90° und sind im Stande, einen Anker in Rotation zu bringen, der zu den Stromkreisen A und B in induktiver Beziehung steht.

In Fig. 16 *III* ist ein ähnlicher Motor M_3 mit zwei Erregungsstromkreisen A_1 und B_1 dargestellt. Zu einer mit einem ihrer Enden an die Leitung L angeschlossenen primären Spule P gehört eine sekundäre Spule S , welche am besten für eine mäßig hohe Spannung gewickelt ist und mit welcher die beiden Erregungsstromkreise des Motors verbunden sind, und zwar der eine direkt mit den Enden der sekundären Spule und der andere durch Vermittelung eines Kondensators C , durch dessen Wirkung die den Stromkreis A_1 und B_1 durchfließenden Ströme in ihrer Phase gegen einander verschoben werden.

In Fig. 16 *IV* ist noch eine andere Erscheinung gezeigt. In diesem Falle sind zwei Primärspulen P_1 und P_2 mit der Leitung L verbunden, und zwar die eine durch Vermittelung eines Kondensators C von geringer Kapazität und die andere direkt. Die Primärspulen sind mit sekundären Spulen S_1 und S_2 versehen, die mit den Erregungsstromkreisen A_2 und B_2 eines Motors M_4 hinter einander geschaltet sind, wobei der Kondensator C wiederum zur Erzeugung der erforderlichen Phasendifferenz zwischen den die Motorstromkreise durchfließenden Strömen dient. Da derartige Phasenmotoren mit zwei oder mehr Stromkreisen heutzutage in der Technik wohlbekannt sind, so sind dieselben nur schematisch dargestellt worden. Einen Motor auf die angedeutete oder auf ähnliche Weise zu betreiben, bietet durchaus keine Schwierigkeit; und obwohl derartige Versuche zur Zeit nur wissenschaftliches Interesse darbieten, so können sie doch vielleicht in einer nicht zu fernen Zeit für praktische Zwecke verwertet werden.

Es dürfte hier am Platze sein, einige Bemerkungen über den Gegenstand des Betriebes von Apparaten aller Art mittels nur eines Zuführungsdrahtes zu machen. Es ist ohne Weiteres klar, daß wenn Ströme hoher Frequenz benutzt werden, Erdverbindungen — wenigstens wenn die elektromotorische Kraft der Ströme groß ist — besser sind als eine Rückleitung. Solche Erdverbindungen sind bei konstanten Strömen oder Strömen niedriger Frequenz wegen der zerstörenden chemischen Wirkungen der ersteren und der von beiden auf in der Nähe befindliche Stromkreise ausgeübten störenden Einflüsse nicht einwandfrei; bei hohen Frequenzen aber existieren diese Wirkungen praktisch gar

nicht. Überdies werden auch Erdverbindungen überflüssig, wenn die elektromotorische Kraft sehr hoch ist, denn es wird bald ein Zustand erreicht, wo der Strom ökonomischer durch einen offenen, wie durch einen geschlossenen Stromkreis gesandt werden kann. So fernliegend auch eine industrielle Anwendung einer Energieübertragung mittels eines einzigen Drahtes demjenigen erscheinen mag, der in Versuchen dieser Art nicht erfahren ist, so dürfte dies doch nicht bei demjenigen der Fall sein, welcher einige Zeit hindurch Untersuchungen dieser Art angestellt hat. In der Tat sehe ich nicht, warum dieser Weg nicht gangbar sein sollte. Auch darf man nicht glauben, daß zur Ausführung eines solchen Planes Ströme von sehr hoher Frequenz unbedingt erforderlich sind; denn sobald Spannungen von etwa 30'000 Volt benutzt werden, läßt sich die Energieübertragung mittels eines einzigen Drahtes auch mit niedrigen Frequenzen bewerkstelligen und ich habe Versuche nach dieser Richtung angestellt, aus denen diese Folgerungen gezogen sind.

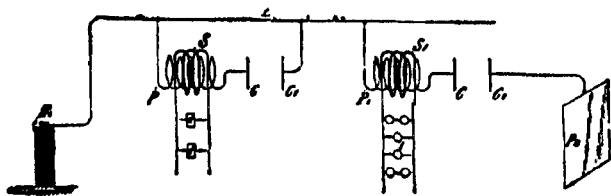


Fig. 17.

Bei sehr hohen Frequenzen erwies es sich in der Laboratoriumspraxis als sehr leicht, die Wirkungen auf die in Fig. 17 schematisch dargestellte Weise zu regulieren. In der Figur sind zwei Primärspulen P und P_1 gezeichnet, welche je mit einem ihrer Enden mit der Linie L und mit dem andern mit den Kondensatorplatten C und C_1 respektive verbunden sind. In der Nähe derselben sind zwei andere Kondensatorplatten C_1 und C_1 aufgestellt, von denen die erstere mit der Linie L und die letztere mit einer isolierten größeren Platte P_2 verbunden ist. Auf die Primärspulen sind Sekundärspulen S und S_1 aus dickem Draht gewickelt, welche bezüglich mit den Apparaten d und l verbunden sind. Durch Veränderung der Entfernungen der Kondensatorplatten C und C_1 können auch die Ströme durch die Sekundärspulen S und S_1 in ihrer Stärke variiert werden. Die seltsamste Erscheinung hierbei ist die große Empfindlichkeit, indem die geringste Änderung des Plattenabstandes beträchtliche Änderungen in der Stärke der Ströme hervorbringt. Die Empfindlichkeit kann außerordentlich groß gemacht werden, wenn man die Frequenz derart einrichtet, daß

die primäre Spule für sich selbst, ohne daß eine Platte an ihrem freien Ende befestigt ist, in Verbindung mit der geschlossenen Sekundärspule die Bedingung der Resonanz erfüllt. Unter solchen Umständen bringt eine außerordentlich kleine Änderung in der Kapazität des freien Poles große Variationen hervor. Z. B. vermochte ich die Verhältnisse derart zu regulieren, daß die bloße Annäherung eines Menschen an die Spule eine beträchtliche Änderung der Helligkeit der an die sekundäre Spule angeschlossenen Lampen zur Folge hatte. Derartige Beobachtungen und Versuche besitzen natürlich gegenwärtig hauptsächlich wissenschaftliches Interesse, doch können sie möglicher Weise bald von praktischer Bedeutung werden.

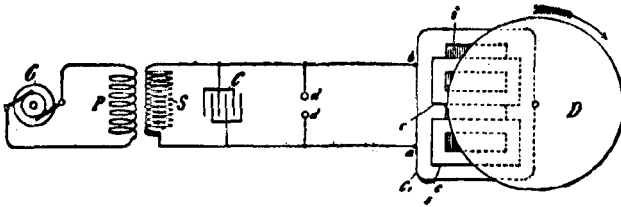


Fig. 18.

Sehr hohe Frequenzen sind selbstverständlich bei Motoren wegen der Notwendigkeit der Verwendung von Eisenkernen nicht anwendbar. Man kann jedoch plötzliche Entladungen von niedriger Frequenz benutzen und auf diese Weise gewisse Vorteile der Ströme hoher Frequenz erreichen, ohne daß der Eisenkern ganz unfähig würde, den wechseln zu folgen, und ohne auf den Kern einen großen Energieaufwand zu verwenden. Ich habe es als völlig ausführbar gefunden, Wechselstrommotoren mit solchen disruptiven Kondensator-Entladungen von niedriger Frequenz zu betreiben. Gewisse Motoren dieser Art, auf die ich vor einigen Jahren hingewiesen habe, und die geschlossene sekundäre Stromkreise besitzen, werden ziemlich kräftig rotieren, wenn die Entladungen durch die Erregungsspulen gesandt werden. Ein Grund, weshalb ein solcher Motor bei diesen Entladungen so gut funktioniert, ist der, daß die Phasendifferenz zwischen dem primären und sekundären Strome 90° beträgt, was im Allgemeinen bei harmonisch steigenden und fallenden Strömen niedriger Frequenz nicht der Fall ist. Es dürfte nicht ohne Interesse sein, einen Versuch mit einem einfachen Motor dieser Art vorzuführen, zumal da man gewöhnlich glaubt, daß disruptive Entladungen für solche Zwecke untauglich sind. Der Motor ist in Fig. 18 dargestellt. Er besteht aus einem ziemlich star-

ken Eisenkern i mit Nuten an der oberen Fläche, in welche dicke Kupferbleche c eingelagert sind, in der Nähe des Kernes befindet sich eine frei bewegliche Metallscheibe D . Der Kern ist mit einer primären Erregungsspule C_1 versehen, deren Enden a und b mit den Klemmen der sekundären Wicklung S eines gewöhnlichen Transformators verbunden sind, während die primäre Wicklung P des letzteren mit einem Wechselstromverteilungsnetz oder -Generator G von niedriger oder mäßige Frequenz in Verbindung steht. Die Enden der sekundären Wicklung S sind an einem Kondensator C angelegt, der durch eine Luftstrecke d entladet, die in Serie oder Nebenschluß zur Spule C_1 geschaltet werden kann. Werden die Verhältnisse entsprechend gewählt, so rotiert die Scheibe D mit erheblicher Kraft und der Eisenkern i wird nicht merklich heiß. Bei Strömen von einer Wechselstrommaschine hoher Frequenz dagegen wird der Kern schnell heiß und die Scheibe rotiert mit viel geringerer Kraft. Um das Experiment zweckmäßig auszuführen, muß man sich zuerst überzeugen, daß die Scheibe D nicht in Rotation versetzt wird, wenn eine Entladung bei d nicht stattfindet. Man benutzt am besten einen großen Eisenkern und einen Kondensator von großer Kapazität, um die aufgelagerte schnellere Oszillation nach Möglichkeit zu reduzieren oder ganz zu beseitigen. Durch Innehaltung gewisser elementarer Regeln habe ich es auch als ausführbar erkannt, gewöhnliche Hauptschluß- oder Nebenschluß-Gleichstrommotoren mit derartigen disruptiven Entladungen zu betreiben, und zwar kann dies mit oder ohne Rückleitung geschehen.

Impedanzerscheinungen.

UNTER DEN VERSCHIEDENEN BEOBACHTETEN STROMERSCHEINUNGEN SIND vielleicht die interessantesten diejenigen, welche Leiter rasch variierenden Strömen entgegensetzen. In meinem ersten Vortrage vor dem American Institute of Electrical Engineers habe ich einige überraschende Beobachtungen dieser Art beschrieben. Z. B. habe ich gezeigt, daß, wenn solche Ströme oder plötzliche Entladungen durch einen dicken Metallstab gesandt werden, auf dem Stabe nur einige Zentimeter von einander entfernte Punkte vorhanden sind, die eine hinreichende Spannungsdifferenz besitzen, um einen gewöhnlichen Glühlampenfäden in heller Glut zu erhalten. Ich habe auch das merkwürdige Verhalten des einen Leiter umgebenden verdünnten Gases, welches von solchen plötzlichen Stromstößen herrührt, beschrieben. Diese Erscheinungen sind seitdem sorgfältiger studiert worden und ein oder zwei neue Versuche dieser Art dürften genügendes Interesse bieten, um an dieser Stelle beschrieben zu werden.

In Fig. 19a sind B und B_1 ziemlich starke Kupferstangen, die mit ihren unteren Enden bezüglich mit den Platten C und C_1 eines Kondensators verbunden sind, während die gegenüber stehenden Platten des letzteren an die Klemmen der sekundären Spule S eines Hochspannungstransformators angeschlossen sind, dessen Primärspule P aus einer gewöhnlichen Dynamo niedriger Frequenz G oder einem Verteilungsnetze Wechselströme zugeführt erhält. Der Kondensator entladet wie gewöhnlich durch eine regulierbare Luftstrecke d d . Durch Herstellung einer raschen Schwingung konnte leicht der folgende merkwürdige Versuch ausgeführt werden. Die Stangen B und B_1 wurden an ihrem oberen Ende mit einer niedrigvoltigen Lampe l_3 verbunden; etwas tiefer wurde mittels Klemmschrauben c c eine 50voltige l_2 noch etwas tiefer eine 100 Volt-Lampe und schließlich in einer gewissen Entfernung unterhalb der letzteren Lampe eine evakuierte Röhre T angebracht. Durch sorgfältige Bestimmung der Lagen dieser Apparate wurde erreicht, daß sie alle mit der ihnen eigentümlichen Leuchtkraft brannten. Und doch waren sie alle in Parallelschaltung an die beiden starken Kupferstangen angeschlossen und erforderten weit von einander verschiedene Spannungen. Dieser Versuch erfordert natürlich einige Zeit wegen der Regulierung, doch ist er sehr leicht auszuführen.

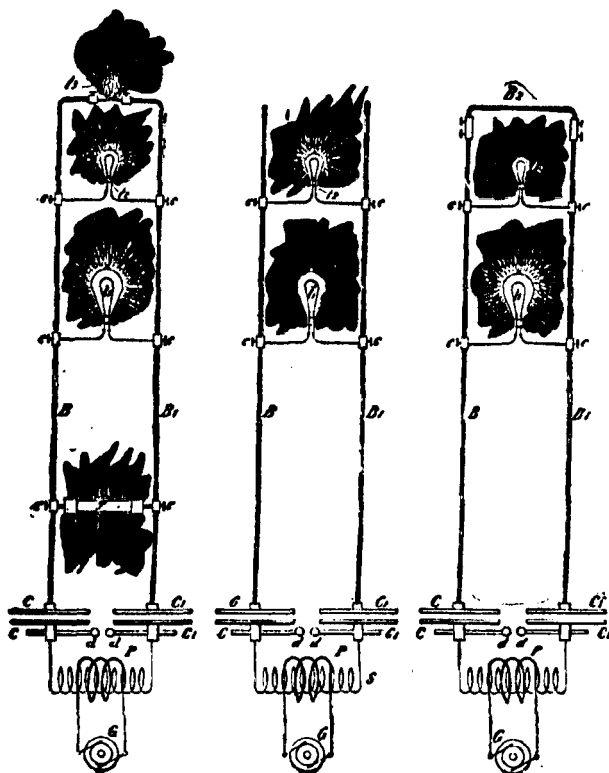


Fig. 19a.

Fig. 19b.

Fig. 19c.

In den Fig. 19b und 19c sind zwei andere Versuche dargestellt, welche im Gegensatz zu dem vorigen Versuche keine sehr sorgfältigen Regulierungen erfordern. In Fig. 19b sind zwei Lampen l_1 und l_2 , die erstere von 100 Volt, die letztere von 50 Volt, an gewissen Stellen, wie aus der Figur ersichtlich und zwar die 100 Volt-Lampe unterhalb der 50 Volt-Lampe angebracht. Wenn der Lichtbogen bei $d d$ spielt und durch die Stangen $B B_1$ plötzliche Entladungen gesandt werden, so wird die 50 Volt-Lampe in der Regel hell brennen oder wenigstens läßt sich dies leicht erreichen, während die 100 Volt-Lampe nur sehr schwach brennt oder völlig dunkel bleibt (Fig. 19b). Werden nun aber die Stangen $B B_1$ oben durch eine dicke Querstange B_2 verbunden, so kann man leicht erreichen, daß die 100 Volt-Lampe mit ihrer vollen Kerzenstärke brennt, während die 50 Volt-Lampe dunkel bleibt (Fig. 19c). Diese Resultate dürfen,

wie ich früher ausgeführt habe, nicht der Frequenz allein zugeschrieben werden, sondern vielmehr der Geschwindigkeit der Änderung, die auch bei niedrigen Frequenzen groß sein kann. Es können noch zahlreiche andere Resultate dieser Art, die in gleicher Weise interessant sind, insbesondere für diejenigen, welche nur mit konstanten Strömen zu hantieren gewohnt sind, erhalten werden; dieselben geben wertvolle Aufschlüsse bei der Untersuchung des Wesens der elektrischen Ströme.

In den vorhergehenden Experimenten habe ich bereits Gelegenheit gehabt, einige Lichterscheinungen vorzuführen, und es würde jetzt angemessen sein, dieselben im Einzelnen zu studieren. Um aber diese Untersuchung zu vervollständigen, halte ich es für notwendig, erst einige Bemerkungen über den Gegenstand der elektrischen Resonanz vorzuschicken, welche bei der Ausführung dieser Versuche stets zu beobachten ist.

Über elektrische Resonanz.

DEN WIRKUNGEN DER RESONANZ WIRD VON DEN INGENIEUREN IMMER MEHR Beachtung geschenkt und sie werden von großer Wichtigkeit im praktischen Betriebe aller Arten von Wechselstromapparaten. Es mögen daher einige allgemeine Bemerkungen bezüglich dieser Wirkungen gestattet sein. Offenbar wird, falls es uns gelingt, die Wirkungen der Resonanz beim Betriebe elektrischer Vorrichtungen praktisch zu verwenden, die Rückleitung natürlich unnötig werden, da die elektrische Schwingung mit einem Drahte gerade so gut und zuweilen noch besser fortgeleitet werden kann wie mit zweien. Die zunächst zu beantwortende Frage ist daher, ob reine Resonanzwirkungen überhaupt hervorzubringen sind. Theorie und Erfahrung zeigen beide, daß dies in der Natur unmöglich ist, da, sobald die Oszillation stärker und stärker wird, die Verluste in den schwingenden Körpern und den umgebenden Medien zunehmen und notwendig die Schwingung, die sonst ins Unendliche zunehmen würde, hemmen. Es ist ein glücklicher Umstand, daß sich reine Resonanz nicht hervorbringen läßt, denn wäre dies nicht der Fall, so ließe sich kaum sagen, welchen Gefahren der ahnungslose Experimentator ausgesetzt sein würde. Bis zu einem gewissen Grade jedoch ist es möglich, Resonanz zu erzeugen, und zwar ist die Größe der Wirkungen begrenzt durch die unvollkommene Leistungsfähigkeit und die unvollkommene Elastizität der Medien oder, allgemein gesprochen, durch Reibungsverluste. Je kleiner diese Verluste sind, um so überraschender sind die Wirkungen. Dasselbe gilt von mechanischen Schwingungen. Ein starker Stahlstab kann durch in geeigneten Zwischenräumen auf ihn herabfallende Wassertropfen in Schwingung versetzt werden; bei Glas, welches vollkommener elastisch ist, ist die Resonanzwirkung noch auffallender, denn ein Weinglas kann zerspringen, wenn man in dasselbe einen Ton von geeigneter Höhe hineinsingt. Die elektrische Resonanz wird um so vollkommener erhalten, je geringer der Widerstand oder die Impedanz des Leiters und je vollkommener das Dielektrikum ist. Bei einer Leydener Flasche, die durch einen kurzen Kabelstrang aus dünnen Drähten entladen wird, sind diese Erfordernisse wahrscheinlich am besten erfüllt und die Resonanzwirkungen sind daher ausgezeichnet. Dies ist nicht der Fall bei Dynamomaschinen, Transformatoren und ihren Stromkreisen oder überhaupt bei durch den

Handel zu beziehenden Apparaten, bei denen das Vorhandensein von Eisenkernen die Wirkung kompliziert oder unmöglich macht. Bezüglich der Leydener Flaschen, mit denen Resonanzwirkungen häufig demonstriert werden, möchte ich bemerken, daß die beobachteten Wirkungen oft wahrer Resonanz *zugeschrieben* werden, aber selten von ihr *herrühren*, da ein Irrtum in dieser Beziehung leicht möglich ist. Dies kann durch folgenden Versuch unzweifelhaft erwiesen werden, man nehme z. B. zwei große isolierte Metallplatten oder Kugeln, die wir mit *A* und *B* bezeichnen wollen, stelle sie in einer bestimmten kleinen Entfernung von einander auf und lade sie mit einer Reibungs- oder Influenzmaschine zu einem so hohen Potential, daß auch eine geringfügige Erhöhung der Potentialdifferenz zwischen ihnen das Durchschlagen des kleinen Luft- oder isolierenden Zwischenraumes zur Folge hat. Man erreicht dies leicht durch Anstellung einiger Probeversuche. Wird nun eine andere Platte, die an einem isolierenden Handgriff befestigt und mittels eines Drahtes mit der einen Klemme des Hochspannungs-Sekundärkreises einer von einer Wechselstrommaschine (am besten von hoher Frequenz) betätigten Induktionsspule verbunden ist, einem der geladenen Körper *A* oder *B* genähert, derart daß sie sich näher an dem einen von beiden befindet, so wird die Entladung fortwährend zwischen beiden Körpern erfolgen: wenigstens wird sie dies, wenn die Spannung der Spule nebst der Platte genügend hoch ist. Die Erklärung hiervon ergibt sich aber bald aus dem Umstande, daß die angenäherte Platte induktiv auf die Körper *A* und *B* wirkt und den Übergang eines Fünkchens zwischen ihnen veranlaßt. Beim Eintreten dieses Fünkchens müssen die Ladungen, welche vorher diesen Körpern aus der Influenzmaschine mitgeteilt waren, verloren gehen, da die Körper durch den zwischen ihnen gebildeten Lichtbogen in elektrische Verbindung gebracht werden. Nun entsteht aber dieser Lichtbogen, mag Resonanz vorhanden sein oder nicht. Aber selbst wenn der Funken nicht entstünde, würde doch noch eine alternierende elektromotorische Kraft zwischen den Körpern erzeugt werden, wenn die Platte dem einen mehr genähert wird wie dem andern; daher wird die Annäherung der Platte, falls sie nicht durch ihre induktive Wirkung den Luftraum stets wirklich durchschlägt, ihn jedenfalls zu durchschlagen suchen. Anstatt der Kugeln oder Platten *A* und *B* kann man mit demselben Resultat die Belegungen einer Leydener Flasche und an Stelle der Maschine, welche am besten eine Wechselstrommaschine hoher Frequenz ist, da diese sich sowohl für den Versuch als auch für die Beweisführung besser eignet, eine Leydener Flasche oder eine Batterie von Flaschen nehmen. Werden solche Flaschen durch einen Stromkreis von geringen Widerstände entladen, so wird derselbe von Strömen sehr hoher Frequenz

durchflossen. Die Platte kann nun mit einer der Belegungen der zweiten Flasche verbunden werden, und wenn dieselbe der ersten, kurz vorher aus einer Influenzmaschine zu hohem Potential geladenen Flasche genähert wird, so ist das Resultat das nämliche wie vorher und die erste Flasche wird durch einen kleinen Luftraum entladen, nachdem die zweite zur Entladung gebracht ist. Beide Flaschen und ihre Stromkreise brauchen aber nicht besser gegen einander abgestimmt zu sein, als etwa ein tiefer Baß gegen den von einer Fliege erzeugten Ton, da durch den Luftraum kleine Funken schlagen oder wenigstens ersterer erheblich mehr gepreßt wird infolge der Entstehung einer alternierenden elektromotorischen Kraft durch Induktion, welche eintritt, wenn eine der Flaschen zu entladen beginnt.

Noch ein anderer Irrtum ähnlicher Art wird leicht begangen. Wenn die Stromkreise der beiden Flaschen parallel und dicht neben einander laufen und der Versuch der Entladung der einen durch die andere ausgeführt worden ist und nunmehr eine Drahtspule zu einem der Stromkreise hinzugefügt wird, worauf das Experiment nicht mehr gelingt, so würde der Schluß, daß dies darin seinen Grund habe, daß die Stromkreise jetzt nicht zusammenstimmen, durchaus nicht sicher sein. Denn die beiden Stromkreise wirken wie die Belegungen eines Kondensators und die Hinzufügung der Spule zu dem einen von ihnen ist äquivalent der Überbrückung derselben durch einen kleinen Kondensator an derjenigen Stelle, an welcher die Spule sich befindet, und die Wirkung des letzteren könnte darin bestehen, daß der Funken durch Verminderung der alternierenden quer durch den Entladungsraum wirkenden elektromotorischen Kraft am Überspringen gehindert wird. Alle diese Bemerkungen und noch viele andere, die hinzugefügt werden könnten, aber aus Furcht, daß sie uns zu weit von dem Gegenstande abführen würden, unterbleiben, bezwecken nur, den arglosen Studenten welcher eine ganz ungerechtfertigte Meinung von seiner Geschicklichkeit erhalten könnte, wenn er jeden Versuch gelingen sieht, zur Vorsicht zu mahnen; dem Erfahrenen werden sie durchaus nicht als neue Beobachtungen aufgetischt.

Um verlässliche Beobachtungen der elektrischen Resonanzwirkungen auszuführen, ist es wünschenswert, wenn nicht notwendig, eine harmonisch steigende und fallende Ströme liefernde Wechselstrommaschine zu verwenden, da beim Arbeiten mit intermittierenden Strömen die Beobachtungen nicht immer zuverlässig sind, weil viele Erscheinungen, welche von der Änderungsgeschwindigkeit abhängen, mit sehr verschiedenen Frequenzen hervorgerufen werden können. Selbst wenn man solche Beobachtungen mit einer Wechselstrommaschine anstellt, kann man sich täuschen lassen. Wenn ein

Stromkreis an eine Wechselstrommaschine angeschlossen ist, gibt es unendlich viele Werte für die Kapazität und Selbstinduktion, welche zusammen der Bedingung der Resonanz genügen. So gibt es in der Mechanik eine unendliche Zahl von Stimmgabeln, welche auf einen Ton von bestimmter Höhe ansprechen, oder belastete Federn, welche eine bestimmte Schwingungsperiode haben. Aber die Resonanz wird am vollkommensten in jenen Falle erreicht, wo die Bewegung mit der größten Freiheit ausgeführt wird. Nun ist es in der Mechanik, wenn man die Schwingung in dem gewöhnlichen Medium, d. h. in der Luft betrachtet, von verhältnismäßig geringer Bedeutung, ob die eine Stimmgabel etwas größer ist als die andere, weil die Verluste in der Luft nicht sehr erheblich sind. Man kann natürlich eine Stimmgabel in ein luftleer gemachtes Gefäß einschließen und, indem man so den Luftwiderstand auf ein Minimum reduziert, eine bessere Resonanzwirkung erhalten. Jedoch würde der Unterschied nicht sehr groß sein. Es würde aber einen großen Unterschied ausmachen, wenn die Stimmgabel in Quecksilber getaucht würde. Bei den elektrischen Schwingungen ist es von enormer Wichtigkeit, die Verhältnisse derart einzurichten, daß die Schwingung mit der größten Freiheit geschehen kann. Die Größe der Resonanzwirkung hängt unter sonst gleichen Bedingungen von der in Bewegung gesetzten Elektrizitätsmenge oder von der Stärke des durch den Stromkreis getriebenen Stromes ab. Der Stromkreis widersetzt sich aber dem Durchgang sehr Ströme wegen seiner Impedanz und daher ist es, um die beste Wirkung zu erzielen, notwendig, den scheinbaren Widerstand oder die Impedanz auf ein Minimum zu reduzieren. Es ist unmöglich, denselben ganz zu beseitigen, sondern dies geht nur zum Teil, da der *Ohm'sche* Widerstand nicht beseitigt werden kann. Wenn die Frequenz der Stromimpulse aber sehr groß ist, so wird der Stromfluß praktisch durch die Selbstinduktion bestimmt. Die Selbstinduktion läßt sich aber durch Kombination derselben mit einer Kapazität beseitigen. Ist die Beziehung zwischen diesen beiden derart, daß sie sich bei der benutzten Frequenz gegenseitig aufheben, d. h. solche Werte haben, durch welche die Bedingung der Resonanz befriedigt wird, und die größte Elektrizitätsmenge durch den äußern Stromkreis fließt, so wird das beste Resultat erhalten. Es ist einfacher und sicherer, den Kondensator mit der Selbstinduktionsspule hinter einander zu schalten. Es ist klar, daß in solchen Kombinationen für eine gegebene Frequenz, und wenn man nur die Fundamentalschwingung in Betracht zieht, Werte existieren, welche das beste Resultat geben, wenn der Kondensator im Nebenschluß zur Selbstinduktionsspule liegt, natürlich mehr solche Werte, als wenn der Kondensator in Serie sich befindet. Indessen bestimmen praktische Verhältnisse die Wahl. Im letz-

teren Falle kann man nämlich zur Ausführung der Versuche eine kleine Selbstinduktion und eine große Kapazität oder eine kleine Kapazität und eine große Selbstinduktion nehmen; das letztere ist indessen vorzuziehen, da es unbequem ist, eine große Kapazität durch kleine Abstufungen zu regulieren. Nimmt man eine Spule mit sehr großer Selbstinduktion, so wird die kritische Kapazität auf einen sehr kleinen Wert reduziert und möglicher Weise reicht die Kapazität der Spule selbst aus. Es ist leicht, besonders wenn man gewisse Kunstgriffe beobachtet, eine Spule zu wickeln, durch welche der wert der Impedanz auf den *Ohm'schen* Widerstand allein reduziert wird; und für jede Spule gibt es natürlich eine Frequenz, bei welcher der größte Strom durch die Spule fließt. Die Beobachtung des richtigen Verhältnisses zwischen Selbstinduktion, Kapazität und Frequenz ist beim Betriebe von Wechselstromapparaten, wie Transformatoren oder Motoren, von Wichtigkeit geworden, weil durch eine kluge Bestimmung der Elemente die Verwendung eines kostspieligen Kondensators unnötig geworden ist. Auf diese Weise ist es möglich, durch die Wickelung eines Wechselstrommotors unter den normalen Betriebsbedingungen den erforderlichen Strom mit einer niedrigen Spannung zu senden und den falschen Strom ganz zu beseitigen; und je größer der Motor ist, um so leichter läßt sich dies bewerkstelligen; hierzu ist es aber notwendig, Ströme von sehr hoher Spannung oder hoher Frequenz zu verwenden.

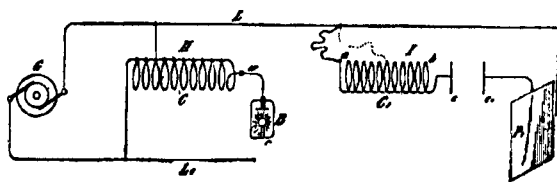


Fig. 20.

In Fig. 20 *I* ist ein Plan dargestellt, welcher bei dem Studium der Resonanzwirkungen mittels einer Wechselstrommaschine von hoher Frequenz befolgt wurde. C_1 ist eine Spule aus vielen Windungen, welche zum Zwecke der Regulierung in kleine getrennte Abschnitte geteilt ist. Die schließliche Regulierung wurde zuweilen mit einigen dünnen Eisendrähnen (obwohl dies nicht immer zweckmäßig ist) oder mit einer geschlossenen sekundären Spule bewirkt. Die Spule C_1 ist mit dem einen ihrer Enden an die vom Alternator G herkommende Linie L und mit dem andern Ende an eine der Platte c eines Kondensators c_1 angeschlossen, dessen andere Platte c_1 mit einer viel größe-

ren Platte P_1 verbunden ist. Auf diese Weise wurden sowohl Kapazität als Selbstinduktion der Frequenz der Dynamomaschine entsprechend reguliert.

Was die Erhöhung der Spannung durch Resonanzwirkung anbelangt, so kann sie natürlich theoretisch jeden beliebigen Betrag erreichen, da sie von der Selbstinduktion und dem Widerstande abhängt und diese jeden beliebigen Wert haben können. In der Praxis jedoch ist man in der Wahl dieser Werte beschränkt und außerdem gibt es noch andere beschränkende Ursachen. Man kann zwar von beispielsweise 1000 Volt ausgehen und die Spannung auf das Fünzigfache dieses Wertes steigern, aber man kann nicht von 100'000 Volt ausgehen und die Spannung auf das Zehnfache dieses Wertes steigern wegen der Verluste in den Medien, die beträchtlich sind, besonders wenn die Frequenz hoch ist. Es müßte möglich sein, beispielsweise von 2 Volt eines Dynamostromkreises von hoher oder niedriger Frequenz auszugehen und die elektromotorische Kraft auf einen viele Hunderte Mal größeren Wert zu steigern. So könnten Spulen der geeigneten Dimensionen je mit dem einen ihrer Enden an die von einer Niederspannungsmaschine ausgehenden Leitungen angeschlossen werden, und obwohl der Stromkreis der Maschine in dem gewöhnlichen Sinne des Wortes nicht geschlossen sein würde, könnte doch die Maschine verbrennen, wenn eine geeignete Resonanzwirkung erhalten würde. Ich bin weder im Stande gewesen, so große Spannungserhöhungen zu erzeugen, noch habe ich solche bei Strömen von einer Dynamomaschine beobachtet. Möglicher wenn nicht wahrscheinlicher Weise ist es bei Strömen, die von Eisen enthaltenden Apparaten entnommen werden, der störende Einfluß des Eisens die Ursache, daß diese theoretischen Möglichkeiten nicht verwirklicht werden könne. Wenn dies aber der Fall ist, so schreibe ich es allein den Verlusten im Kern infolge der Hysteresis und Foucaultströme zu. Im Allgemeinen war es notwendig, nach aufwärts zu transformieren, wenn die Spannung sehr niedrig war, und in der Regel wurde eine Induktionsspule gewöhnlicher Form verwendet, zuweilen erwies sich jedoch die in Fig. 20 II dargestellte Anordnung als zweckmäßig. In diesem Falle wurde eine Spule C aus sehr vielen Abteilungen hergestellt, von denen einige als Primärspule dienten. Auf diese Weise ist sowohl die primäre wie die sekundäre Spule regulierbar. Ein Ende der Spule ist mit der einen Leitung L_1 einer Wechselstrommaschine verbunden, während die andere Leitung L mit einem mittleren Punkte der Spule verbunden ist. Eine solche Spule mit regulierbarer Primär- und Sekundärwicklung erweist sich auch bei Versuchen mit der disruptiven Entladung als zweckmäßig. Wenn wahre Resonanz erhalten wird, muß natürlich der Wellenbauch an dem freien Ende der Spule, also z. B. an dem Pole der phosphoreszierenden

Glasbirne B liegen. Man erkennt dies leicht, wenn man die Spannung eines Punktes des Drahtes w in der Nähe der Spule beobachtet.

Im Zusammenhange mit den Resonanzwirkungen und dem Problem der Energieübertragung mittels eines einzigen Leiters, welches vorher betrachtet wurde, möchte ich noch einige Worte über einen Gegenstand sagen, der beständig mein Denken beschäftigt und der die allgemeine Wohlfahrt betrifft. Ich meine die Übertragung verständlicher Zeichen oder vielleicht sogar von Kraft auf irgend eine Entfernung ohne die Verwendung von Drähten. Ich komme täglich mehr zu der Überzeugung von der Ausführbarkeit der Sache, und obwohl ich sehr wohl weiß, daß die große Mehrzahl der Gelehrten nicht der Meinung ist, daß solche Resultate praktisch und in nächster Zeit realisiert werden können, so glaube ich doch, daß sie alle die in neuerer Zeit von einer Anzahl von Forschern gemachten Fortschritte dazu angetan erachten, um das Nachdenken und Experimentieren nach dieser Richtung zu ermutigen. Meine Überzeugung ist so stark geworden, daß ich diesen Plan der Energie- oder Gedankenübertragung nicht mehr als eine bloße theoretische Möglichkeit sondern für ein ernstes Problem der Elektrotechnik betrachte, welches eines Tages zur Lösung kommen muß. Die Idee der Gedankenübertragung ohne Drähte ist das natürliche Ergebnis der neuesten Resultate elektrischer Untersuchungen. Einige Enthusiasten haben die Meinung ausgesprochen, daß das Telephonieren auf irgend eine Entfernung mittels Induktion durch die Luft möglich sei. Meine Einbildungskraft reicht nicht so weit, dagegen bin ich der festen Meinung, daß es möglich ist, mittels kräftiger Maschinen den elektrostatischen Zustand der Erde zu stören und auf diese Weise verständliche Zeichen und vielleicht sogar Kraft zu übertragen. In der Tat, was spricht gegen die Ausführung eines solchen Planes? Wir wissen jetzt, daß die elektrischen Wellen mittels eines einzigen Leiters übertragen werden können. Warum sollten wir nicht versuchen, uns der Erde zu diesem Zwecke zu bedienen? Wir brauchen bei dem Gedanken an die Entfernung nicht zu erschrecken. Dem müden Wanderer, der die Meilensteine zählt, mag die Erde sehr groß erscheinen, jenem glücklichsten aller Menschen aber, dem Astronomen, der nach dem Himmel schaut und nach dessen Maßstab die Größe unserer Erdkugel beurteilt, erscheint sie sehr klein. Und so, glaube ich, muß sie auch dem Elektriker erscheinen, denn wenn er die Geschwindigkeit betrachtet, mit welcher eine elektrische Störung durch die Erde fortgepflanzt wird, so müssen alle seine gewohnten Vorstellungen über Entfernung völlig schwinden.

Ein Punkt von großer Wichtigkeit wäre zunächst, zu wissen welches die Kapazität der Erde ist und welche Ladung sie im elektrisierten Zustande ent-

hält. Obwohl wir keinen positiven Beweis von der Existenz eines geladenen Körpers im Raume haben, ohne daß andere entgegengesetzt elektrisierte Körper in der Nähe wären, so ist es doch höchst wahrscheinlich, daß die Erde ein solcher Körper ist; denn durch welchen Vorgang auch immer die Erde von andern Körpern losgetrennt worden sein mag — und dies ist die angenommene Ansicht über ihren Ursprung —, sie muß eine Ladung zurückbehalten haben, wie es bei allen Vorgängen mechanischer Trennung der Fall ist. Wenn sie ein geladener im Raume isolierter Körper wäre, so müßte ihre Kapazität außerordentlich gering sein, weniger als ein Tausendstel eines Farad sein. Die oberen Schichten der Luft sind jedoch leitend und dasselbe gilt vielleicht von dem Medium im freien Raume jenseits der Atmosphäre, und diese beiden können eine entgegengesetzte Ladung besitzen. Dann könnte die Kapazität unvergleichlich größer sein. In jedem Falle ist es von der größten Wichtigkeit, eine Vorstellung davon zu gewinnen, welche Elektrizitätsmenge die Erde enthält. Es läßt sich schwer sagen, ob wir je diese notwendige Kenntnis erlangen werden, aber es ist Hoffnung, daß es möglich sei und zwar mittels elektrischer Resonanz. Wenn wir jemals feststellen können, mit welcher Periode die Ladung der Erde, wenn gestört, mit Bezug auf ein entgegengesetzt elektrisiertes System oder einen bekannten Stromkreis oszilliert, werden wir eine Tatsache kennen, die möglicher Weise von der größten Wichtigkeit für die Wohlfahrt des Menschengeschlechtes ist. Ich schlage vor, die Periode mittels eines elektrischen Oszillators oder einer Quelle elektrischer Wechselströme zu suchen. Einer der Pole der Quelle wäre mit der Erde, z. B. mit der städtischen Wasserleitung, der andere mit einem isolierten Körper von großer Oberfläche zu verbinden. Möglicherweise enthalten die äußeren leitenden Luftschichten oder der freie Weltraum eine entgegengesetzte Ladung und bilden zusammen mit der Erde einen Kondensator von sehr großer Kapazität. In diesem Falle kann die Schwingungsperiode sehr gering sein und es könnte eine Wechselstrommaschine für die Zwecke des Versuchs benutzt werden. Man würde dann den Strom zu einer so hohen Spannung, als es überhaupt möglich ist, transformieren und die Enden des Hochspannungssekundärkreises mit der Erde und dem isolierten Körper verbinden. Durch Variierung der Frequenz der Ströme und sorgfältige Beobachtung des Potentials des isolierten Körpers, sowie Achtgeben auf die an verschiedenen nahegelegenen Punkten der Erdoberfläche auftretende Störung könnte man die Resonanz auffinden. Sollte, wie wahrscheinlich die Mehrzahl der Gelehrten glaubt, die Periode außerordentlich klein sein, dann wäre eine Dynamomaschine nicht anwendbar, und es müßte ein geeigneter elektrischer Oszillator erfunden werden; vielleicht könnte es auch gar

nicht möglich sein, so schnelle Schwingungen zu erzeugen. Aber mag dies möglich sein oder nicht, und mag die Erde eine Ladung enthalten oder nicht, und möge ihre Schwingungsperiode sein, welche sie Wollte, es ist — hiervon erhalten wir täglich Beweise — sicher möglich, irgend eine elektrische Störung zu erzeugen, die genügend kräftig ist, um durch geeignete Instrumente an irgend einer Stelle der Erdoberfläche wahrgenommen werden zu können.

Man nehme an, daß eine Wechselstromquelle, wie in Fig. 21, mit einem ihrer Pole an die Erde (zweckmäßig an die Wasserleitungen) und mit dem andern an einen Körper von großer Oberfläche P angeschlossen sei. Wenn eine elektrische Welle erzeugt wird, so wird innerhalb und außerhalb von P eine Elektrizitätsbewegung stattfinden, und es werden Wechselströme durch die Erde gehen, welche nach dem Punkte C , wo die Erdverbindung hergestellt ist, hin konvergieren oder von demselben weg divergieren. Auf diese Weise können die in der Nähe liegenden Punkte auf der Erdoberfläche innerhalb eines gewissen Umkreises gestört werden. Aber die Störung wird mit der Entfernung abnehmen und die Entfernung, bis zu welcher die Wirkung noch wahrnehmbar ist, wird von der in Bewegung gesetzten Elektrizitätsmenge abhängen. Da der Körper P isoliert ist, müßte, um eine beträchtliche Elektrizitätsmenge zu verschieben, das Potential der Stromquelle außerordentlich hoch sein, weil man bezüglich der Oberfläche von P an gewisse Grenzen gebunden ist. Die Verhältnisse könnten so reguliert werden, daß der Generator oder die Stromquelle S dieselbe elektrische Bewegung hervorbringt, wie wenn der Stromkreis derselben geschlossen wäre. Auf diese Weise ist es sicher möglich, daß man der Erde mittels einer geeigneten Maschinerie eine elektrische Schwingung, wenigstens von einer gewissen geringen Periode, mitteilen kann. Bis zu welcher Entfernung eine solche Schwingung wahrnehmbar gemacht werden könnte, läßt sich nur vermuten. Ich habe bei anderer Gelegenheit die Frage erörtert, wie sich die Erde gegen elektrische Schwingungen verhalten möchte. Es ist zweifellos, daß, da bei einem solchen Versuch die elektrische Dichtigkeit an der Oberfläche mit Rücksicht auf die Größe der Erde nur außerordentlich gering sein könnte, die Luft nicht als ein sehr störender



Fig. 21.

Faktor wirken würde, und es würde nicht viel Energie durch die Wirkung der Luft verloren gehen, wie es der Fall sein würde, wenn die Dichtigkeit groß wäre. Theoretisch würde daher kein großer Energiebetrag erforderlich sein, um eine auf große Entfernung oder selbst über die ganze Oberfläche der Erdkugel wahrnehmbare Störung zu erzeugen. Nun ist es ganz sicher, daß an jedem Punkte innerhalb eines gewissen Radius von der Stromquelle S ein Apparat mit zweckmäßig regulierter Selbstinduktion und Kapazität durch Resonanz in Tätigkeit gesetzt werden kann. Aber nicht nur dies ist möglich, sondern es kann auch eine andere der ersten S ähnliche Elektrizitätsquelle S_1 (Fig. 21) oder eine beliebige Anzahl solcher Quellen mit der letzteren synchron betätigt und dadurch die Schwingung verstärkt und über ein großes Gebiet verbreitet oder ein Elektrizitätsfluß nach oder von der Quelle S_1 erzeugt werden, wenn dieselbe von der entgegengesetzten Phase ist, wie die Quelle S . Ich halte es für unzweifelhaft möglich, elektrische Apparate in einer Stadt vermittelt der Erde oder des Rohrnetzes durch Resonanz von einem an einem zentralen Punkte aufgestellten Oszillator zu betreiben. Die praktische Lösung dieses Problems aber würde für die Menschheit von unvergleichlich geringerem Nutzen sein, als die Verwirklichung des Problems der Gedanken- oder vielleicht auch Kraftübertragung auf irgend eine Entfernung vermittelt der Erde oder des umgebenden Mediums. Wenn dies überhaupt möglich ist, so hat das Wort Entfernung jede Bedeutung verloren. Zunächst müssen geeignete Apparate geschaffen werden, mittels deren das Problem im Angriff genommen werden kann, und diesem Gegenstande habe ich viel Nachdenken gewidmet. Ich bin fest überzeugt, daß es möglich sein wird, und ich hoffe, daß wir die Ausführung desselben noch erleben werden.

Über die durch Ströme hoher Frequenz und hoher Spannung erzeugten Lichterscheinungen und allgemeine Bemerkungen über den Gegenstand.

KEHREN WIR NUN ZU DEN LICHTWIRKUNGEN ZURÜCK, DEREN UNTERSUCHUNG der Hauptzweck war, so erscheint es mir angemessen, diese Wirkungen in vier Klassen einzuteilen: 1) Glühen eines festen Körpers; 2) Phosphoreszenz; 3) Glühen oder Phosphoreszieren eines verdünnten Gases und 4) Leuchten erzeugt in einem Gase bei gewöhnlichem Drucke. Die erste Frage ist: Wie werden diese Lichtwirkungen hervorgebracht? Um diese Frage so befriedigend zu beantworten, als ich es im Lichte der angenommenen Anschauungen und mit der gewonnenen Erfahrung zu tun vermag, und um diese Vorführung möglichst interessant zu machen, will ich hier eine Erscheinung behandeln, die ich für sehr wichtig halte, um so mehr, als sie nebenbei ein besseres Licht über die Natur der meisten durch elektrische Ströme hoher Frequenz hervorgebrachten Erscheinungen zu verbreiten verspricht. Ich habe bei andern Gelegenheiten auf die große Bedeutung des Vorhandenseins des verdünnten Gases oder überhaupt eines aus Atomen bestehenden Mediums um den von Wechselströmen hoher Frequenz durchflossenen Leiter hinsichtlich der Erwärmung des Leiters durch die Ströme hingewiesen. Meine vor einiger Zeit beschriebenen Versuche habe gezeigt, daß, je höher die Frequenz und Spannungsdifferenz der Ströme ist, um so wichtiger das verdünnte Gas, in welches der Leiter eingetaucht ist, als Faktor der Erwärmung wird. Die Spannungsdifferenz ist jedoch, wie ich

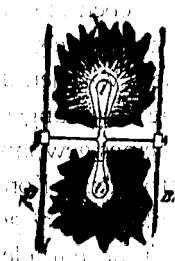


Fig. 22a.

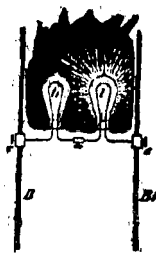


Fig. 22b.

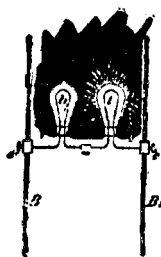


Fig. 22c.

damals betont habe, ein wichtigeres Element als die Frequenz. Wenn diese beiden genügend hoch sind, so kann die Erwärmung fast vollständig von der Gegenwart des verdünnten Gases herrühren. Die folgenden Versuche werden die Wichtigkeit des verdünnten Gases oder überhaupt eines Gases bei gewöhnlichem oder einem andern Drucke bezüglich des Glühens oder anderer durch Ströme dieser Art erzeugter Lichteffekte darlegen.

Ich nehme zwei gewöhnliche 50voltige Glühlampen à 16 N.K., welche in jeder Beziehung einander gleich sind, außer daß die eine an der Spitze geöffnet wurde und daher die ganze Birne mit Luft erfüllt ist, während die andere das gewöhnliche Vakuum käuflicher Lampen besitzt. Wenn ich die ausgepumpte Lampe mit den Klemmen der sekundären Wicklung der Spule, die ich früher schon benutzte, z. B. bei den in Fig. 15a dargestellten Versuchen, verbinde und den Strom einschaltete, so wird der Kohlenfaden, wie Sie früher gesehen haben, hoch glühend. Befestige ich die zweite mit Luft gefüllte Lampe an Stelle der ersten, so glüht der Faden ebenfalls, aber viel weniger hell. Dieser Versuch erläutert nur zum Teil die Richtigkeit der vorher gemachten Behauptungen. Die Wichtigkeit des Eintauchens des Fadens in ein verdünntes Gas ist es wohl ersichtlich, aber nicht im dem Grade, wie man es wünschen möchte. Der Grund ist, daß die sekundäre Wicklung dieser Spule für niedrige Spannung gewickelt ist, nämlich nur 150 Windungen besitzt, und daher die Spannungsdifferenz an den Klemmen der Lampe gering ist. Nähme ich eine andere Spule mit viel mehr Windungen im Sekundärkreise, so würde die Wirkung verstärkt werden, da sie, wie vorher bemerkt, teilweise von der Spannungsdifferenz abhängt. Da aber die Wirkung auch von der Frequenz abhängt kann man passend sagen, sie hänge von der Größe der Änderung; der Spannungsdifferenz in der Zeiteinheit ab. Je größer diese Änderung ist, um so wichtiger wird das Gas als Element der Erwärmung. Ich kann eine viel größere Änderungsgeschwindigkeit auf eine andere Weise erzeugen, welche außerdem den Vorteil hat, die Einwände zu beseitigen, welche gegen den eben angestellten Versuch, auch wenn beide Lampen in Serie oder parallel zur Spule geschaltet würden, erhoben werden könnten, nämlich daß wegen der zwischen der primären und sekundären Spule bestehenden Reaktionen die Folgerungen unsicher würden. Ich erreiche dies Resultat, indem ich mittels eines gewöhnlichen von einer Wechselstromzentrale gespeisten Transformators eine Kondensatorbatterie lade und letztere direkt durch einen Stromkreis von geringer Selbstinduktion, wie vorher an den Fig. 19 a—c erläutert wurde, entlade.

In den Fig. 22a, 22b und 22c sind die starken Kupferstäbe $B B_1$ mit den entgegengesetzten Belegungen einer Kondensatorbatterie oder allgemein in

solcher Weise verbunden, daß die Hochfrequenz- oder plötzlichen Entladungen durch sie hindurch gehen müssen. Ich verbinde zunächst mittels der Klemmschrauben $c\ c$ eine gewöhnliche 50 Volt-Glühlampe mit den Stäben. Gehen die Entladungen durch die Lampe, so wird der Kohlenfaden glühend, obwohl der durch ihn hindurchgehende Strom sehr klein ist und durchaus nicht hinreichen würde, um unter den gewöhnlichen Gebrauchsverhältnissen der Lampe eine sichtbare Wirkung zu erzeugen. Anstatt dieser Lampe befestige ich nun an den Stangen eine andere der ersten genau gleiche Lampe, bei welcher jedoch die Zuschmelzstelle weggebrochen ist, so daß die Glasbirne mit Luft unter gewöhnlichem Drucke gefüllt ist. Wenn die Entladungen wie zuvor durch den Kohlenfaden gesandt werden, so wird derselbe nicht glühend. Indessen könnte man dies noch einer der vielen möglichen Gegenwirkungen zuschreiben. Ich schalte daher, wie aus Fig. 22a ersichtlich, beide Lampen parallel. Jetzt gehen die Entladungen durch beide Lampen, es glüht jedoch nur der Kohlenfaden in der evakuierten Lampe l sehr hell, während derjenige in der nicht ausgepumpten Lampe l_1 , wie vorher, dunkel bleibt. Man darf jedoch nicht denken, daß die letztere Lampe nur einen kleinen Bruchteil der beiden Lampen zugeführten Energie aufnimmt; im Gegenteil kann sie einen erheblichen Teil der Energie verzehren und sogar heißer werden als die hell brennende. Bei diesem Versuch ändert die Spannungsdifferenz an den Klemmen der Lampen theoretisch drei oder vier Millionen Mal in der Sekunde das Vorzeichen. Die Enden der Lampenfäden werden dementsprechend elektrisiert, und das Gas in den Glasbirnen wird in heftige Bewegung versetzt und auf diese Weise ein großer Teil der zugeführten Energie in Wärme verwandelt. In der nicht evakuierten Birne, in welcher sich einige Millionen Mal mehr Gasmoleküle befinden als in der evakuierten Birne, verzehrt das Bombardement der letzteren, welches an den Enden des Kohlenfadens im Hals der Lampenbirne am heftigsten ist, einen großen Teil der Energie, ohne irgend eine sichtbare Wirkung hervorzubringen. Der Grund hiervon ist, daß, da sehr viele Moleküle vorhanden sind, das Bombardement quantitativ erheblich ist, die einzelnen Zusammenstöße aber nicht sehr heftig sind, weil die Geschwindigkeiten der Moleküle infolge der beschränkten freien Bahn verhältnismäßig gering sind. In der evakuierten Birne dagegen sind die Geschwindigkeiten sehr groß und die Einzelstöße sind heftig und daher besser zur Erzeugung einer sichtbaren Wirkung geeignet. Außerdem ist die Fortleitung der Wärme in der ersten Lampenbirne größer. In beiden Birnen ist der den Faden durchfließende Strom sehr klein, unvergleichlich kleiner als der, welchen sie bei einem gewöhnlichen Stromkreise niedriger Frequenz erfordern würden. Die Spannungsdifferenz an

den Enden der Fäden ist indessen sehr groß und könnte möglicher Weise 20'000 Volt oder mehr betragen, wenn die Fäden gerade und ihre enden weit von einander entfernt wären. In der gewöhnlichen Lampe tritt im Allgemeinen zwischen den Enden des Fadens oder zwischen den Platindrähten außerhalb ein Funken auf, ehe eine solche Spannungsdifferenz erreicht werden kann.

Man könnte einwerfen, daß bei dem vorher gezeigten versuch, wo die Lampen parallel geschaltet sind, die evakuierte Lampe einen weit größeren Strom aufnehmen könnte und daher die beobachtete Wirkung nicht gerade der Wirkung des Gases in den Lampenbimen zuzuschreiben wäre. Derartige Einwände würden sehr an Gewicht verlieren, wenn ich die Lampen hinter einander schaltete und dasselbe Resultat erhielte. Geschieht dies und werden die Entladungen durch die Kohlenfaden geleitet, so bemerkt man wiederum, daß der Faden in der nicht evakuierten Birne l_1 dunkel bleibt, während derjenige in der evakuierten l noch intensiver glüht als unter den normalen Betriebsverhältnissen (Fig. 22b). Nach den allgemeinen Anschauungen sollte nunmehr der Strom durch die Lampenfäden derselbe sein, würde er nicht durch das Vorhandensein des Gases um die Fäden modifiziert.

Im Anschluß hieran möchte ich auf eine andere interessante Eigentümlichkeit hinweisen, welche die Wirkung der Geschwindigkeit der Änderung der Spannung der Ströme illustriert. Ich lasse die beiden Lampen, wie bei dem vorigen versuch Fig. 22b, hinter einander geschaltet mit den Stäben B B_1 verbunden, vermindere aber die Frequenz der Ströme, die bei dem eben angestellten Versuche außerordentlich hoch war, erheblich. Dies kann durch Einschaltung einer Selbstinduktionsspule in die Strombahn der Entladungen oder durch Vermehrung der Kapazität der Kondensatoren geschehen. Wenn ich nun diese Entladungen niedriger Frequenz durch die Lampen sende, so wird wiederum die evakuierte Lampe l so hell brennen wie vorher, aber man sieht, daß auch die nicht evakuierte Lampe l_1 glüht, wenn auch nicht so intensiv wie die andere. Vermindert man den durch die Lampen fließenden Strom, so kann man den Faden in der letzteren Lampe zur Rotglut bringen, und obwohl der Faden in der evakuierten Lampe l hell glüht, Fig. 22c, ist doch der Grad des Glühens viel kleiner als in Fig. 22b, wo die Ströme von weit höherer Frequenz waren.

In diesen Versuchen wirkt das Gas bei Bestimmung des Grades des Glühens der Fäden auf zwei entgegengesetzte Arten, nämlich durch Konvektion und Bombardement. Je höher die Frequenz und die Spannung der Ströme ist, um so wichtiger wird das Bombardement. Die Konvektion dagegen sollte um

so kleiner sein, je höher die Frequenz ist. Bei konstanten Strömen gibt es in Wirklichkeit kein Bombardement und die Konvektion kann daher bei solchen Strömen den Grad des Glühens beträchtlich modifizieren und den eben vorgeführten ähnliche Resultate erzeugen. Wenn z. B. zwei genau gleiche Lampen, von denen die eine evakuiert, die andere nicht evakuiert ist, parallel oder hinter einander an eine Gleichstrommaschine angeschlossen sind, so wird der Faden in der nicht evakuierten Lampe einen erheblich größeren Strom erfordern, um glühend zu werden. Dies Resultat rührt allein von der Konvektion her und die Wirkung tritt um so schärfer hervor, je dünner der Kohlenfaden ist. Professor Ayrton und Herr Kilgour veröffentlichten vor einiger Zeit auf das thermische Emmissionsvermögen durch Strahlung und Leitung bezügliche quantitative Daten, in denen die Wirkung bei dünnen Drähten deutlich zu Tage tritt. Diese Wirkung kann in überraschender Weise illustriert werden, wenn man sich eine Anzahl enger kurzer Glasröhren herstellt, deren jede in ihrer Achse einen möglichst dünnen Platindraht enthält. Nachdem diese Röhren stark evakuiert worden sind, wird eine Anzahl derselben parallel mit einer Gleichstrommaschine verbunden; es können dann sämtliche Drähte mit einem geringeren Strome glühend erhalten werden, als derjenige ist, der erforderlich sein würde, um einen einzigen der Drähte glühend zu machen, wenn die Röhre nicht evakuiert ist. Könnten die Röhren so weit ausgepumpt werden, daß die Konvektion gleich Null wäre, so könnten die durch Leitung und Strahlung abgegebenen relativen Wärmebeträge ohne die mit thermischen quantitativen Messungen verbundenen Schwierigkeiten bestimmt werden. Wird eine Quelle elektrischer Stromimpulse von hoher Frequenz und hoher Spannung angewendet, so kann man eine noch größere Zahl von Röhren nehmen und die Drähte durch einen Strom glühend machen, der nicht im Stande wäre, einen in Luft unter gewöhnlichem Drucke befindlichen Draht von gleichem Umfange merklich zu erwärmen und allen Drähten Energie zuzuführen.

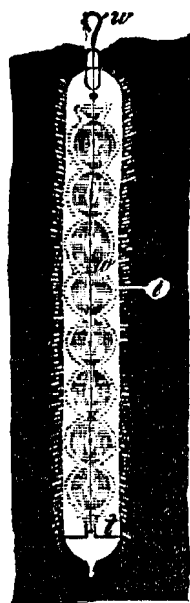


Fig. 23.

Ich möchte hier ein Resultat beschreiben, welches noch interessanter ist und zu welchem ich durch die Beobachtung dieser Erscheinungen geführt wurde. Ich bemerkte, daß kleine Unterschiede in der Dichtigkeit der Luft einen erheblichen Unterschied in dem Grade des Glühens der Drähte hervor-

brachten, und ich dachte mir, daß, da in einer Röhre, durch welche eine Lichtentladung gesandt wird, das Gas im Allgemeinen nicht von gleichförmiger Dichtigkeit ist, ein sehr dünner in der Röhre enthaltener Draht an bestimmten Stellen, wo das Gas geringere Dichtigkeit besitzt, glühend gemacht werden könnte, während er an den Stellen von größerer Dichtigkeit, wo die Konvektion größer und das Bombardement weniger intensiv ist, dunkel bliebe. Demgemäß wurde eine Röhre t , wie in Fig. 23 abgebildet, hergestellt, welche einen durch ihre Mitte hindurchgehenden sehr dünnen Platindraht enthielt. Die Röhre wurde mäßig evakuiert, und es fand sich, daß wenn dieselbe mit den Polen einer Spule von hoher Frequenz verbunden wurde, der Platindraht w in der Tat stellenweise glühend wurde, wie in Fig. 23 dargestellt. Später wurde eine Anzahl solcher Röhren mit einem oder mehreren Drähten hergestellt und jede zeigte dasselbe Resultat. Die Wirkung war am besten wahrzunehmen, wenn in der Röhre eine schichtenförmige Entladung stattfand, indessen wurde sie auch erzeugt, wenn die Schichten nicht sichtbar waren, woraus erhellt, daß selbst dann das Gas in der Röhre nicht von gleichförmiger Dichtigkeit war. Die Lage der Schichten war im Allgemeinen derart, daß die Verdünnungen den glühenden oder helleren Stellen am Drahte w entsprachen. In einigen Fällen wurde jedoch bemerkt, daß die hellen Flecken am Drahte von den dichten Teilen der schichtenförmigen Entladung, wie durch l in Fig. 23 angedeutet, bedeckt wurden, obwohl die Wirkung kam wahrnehmbar war. Dies läßt sich in plausibler Weise durch die Annahme erklären, daß die Konvektion an den dichten und verdünnten Stellen nicht sehr verschieden und daß das Bombardement an den dichten Stellen der schichtenförmigen Entladung größer war. Es wird in der Tat oft an Lampenbirnen beobachtet, daß unter gewissen Verhältnissen ein dünner Draht zu hellerem Glühen gebracht wird, wenn die Luft nicht zu stark verdünnt ist. Dies ist der Fall, wenn die Spannung der Spule nicht hoch genug ist für das Vakuum; indessen kann dieses Resultat von sehr vielen verschiedenen Ursachen herrühren. In allen Fällen verschwindet diese seltsame Erscheinung des Glühens, wenn die Röhre oder vielmehr der Draht eine überall gleichmäßige Temperatur annimmt.

Abgesehen nun von der modifizierenden Wirkung der Konvektion, gibt es zwei verschiedene Ursachen, welche das Glühen eines Drahtes oder Kohlenfadens bei variierenden Strömen bedingen, nämlich den Leitungsstrom und das Bombardement. Bei konstanten Strömen hat man es nur mit der ersten von diesen beiden Ursachen zu tun und die Wärmewirkung ist am geringsten, da der Widerstand gegen den gleichmäßigen Fluß am kleinsten ist. Ist der Strom ein veränderlicher, so ist der Widerstand größer und demnach wird die War-

mewirkung verstärkt. Wenn daher die Geschwindigkeit der Änderung des Stromes sehr groß ist, so kann der Widerstand in solchem Maße wachsen, daß der Kohlenfaden auch bei ganz geringfügigen Strömen zum Glühen kommt; wir können auch einen kurzen, dicken Block aus Kohle oder einem andern Material nehmen und ihn mit einem unvergleichlich viel kleineren Strome zum hellen Glühen bringen, als erforderlich sein würde, um einen gewöhnlichen dünnen Lampenfaden mit einem konstanten Strome oder einem Strome niedriger Frequenz ebenso hell erglühen zu lassen. Dieses Resultat ist wichtig und illustriert, wie schnell unsere Ansichten über diese Gegenstände wechseln und wie rasch das Gebiet unserer Kenntnis sich erweitert. In der Technik der Glühlichtbeleuchtung, um dies Resultat nur von der einen Seite zu betrachten, wurde es allgemein als ein wesentliches Erfordernis für einen praktischen Erfolg angesehen, daß der Lampenfaden dünn und von hohem Widerstande sein müsse. Jetzt wissen wir aber, daß der Widerstand des Fadens gegen den konstanten Strom nichts zu bedeuten hat; der Faden könnte ebenso gut kurz und dick sein; denn wenn derselbe in ein verdünntes Gas eintaucht, so wird er durch den Durchgang eines kleinen Stromes glühend werden. Es hängt alles von der Frequenz und Spannung der Ströme ab. Hieraus können wir schließen, daß es, soweit die Lampe in Betracht kommt, von Vorteil sein würde, hohe Frequenzen für die Beleuchtung anzuwenden, da dieselben den Gebrauch kurzer und dicker Fäden und kleinerer Ströme gestatten.

Wenn ein Draht oder Kohlenfaden in einem homogenen Medium sich befindet, so rührt die ganze Erwärmung von dem eigentlichen Leitungsstrome her; wenn derselbe aber in ein evakuiertes Gefäß eingeschlossen ist, sind die Verhältnisse sehr verschieden. Hier beginnt das Gas zu wirken und die Wärmewirkung des Leitungsstromes kann, wie sich in vielen Versuchen herausgestellt hat, sehr klein sein im Vergleich mit derjenigen des Bombardements. Dies ist insbesondere der Fall, wenn der Stromkreis nicht geschlossen ist und die Spannungen natürlich sehr hoch sind. Man nehme an, daß ein dünner in ein evakuiertes Gefäß eingeschlossener Kohlenfaden mit dem einen Ende an die Klemme einer Hochspannungsspule und mit seinem andern Ende an eine große isolierte Platte angeschlossen sei. Obwohl der Stromkreis nicht geschlossen ist, wird der Faden doch, wie ich früher gezeigt habe, glühend werden. Sind die Frequenz und die Spannung verhältnismäßig niedrig, so wird der Faden durch den *durch ihn hindurchgehenden* Strom erhitzt. Werden die Frequenz und die Spannung, insbesondere die letztere, erhöht, so braucht die isolierte Platte nur sehr klein zu sein oder kann vollständig wegfallen; trotzdem wird der Faden glühend werden und zwar wird dann praktisch die ganze Er-

wärmung von dem Bombardement herrühren. Ein praktisches Verfahren, sowohl die Wirkungen der Leitungsströme wie die des Bombardements zu kombinieren, ist in Fig. 24 dargestellt, in welcher eine gewöhnliche Lampe mit einem sehr dünnen Faden abgebildet ist, dessen eines Ende mit einem als isolierte Platte dienenden Lampenschirm und dessen anderes Ende mit dem Pole einer Stromquelle hoher Spannung verbunden ist. Man darf nicht denken, daß nur verdünntes Gas ein wichtiger Faktor bei der Erwärmung eines Leiters durch variierende Ströme ist, sondern es kann auch Gas bei gewöhnlichem Drucke von Wichtigkeit werden, wenn der Spannungsunterschied und die Frequenz der Ströme außerordentlich hoch sind. Bezüglich dieses Gegenstandes habe ich bereits erwähnt, daß, wenn ein Leiter durch einen Blitzschlag geschmolzen wird, der ihn durchfließende Strom außerordentlich gering sein, ja nicht einmal genügen kann, um den Leiter merklich zu erwärmen, wenn der letztere in einem homogenen Medium sich befände.

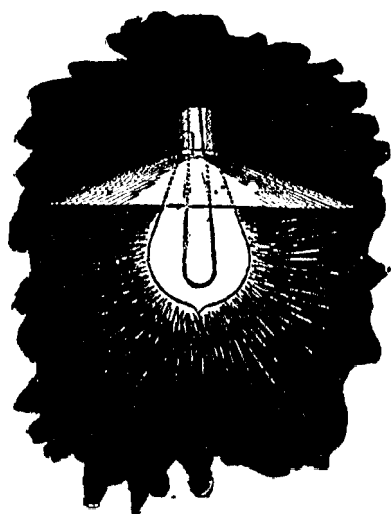


Fig. 24.

Aus dem Vorhergehenden ist klar, daß, wenn ein Leiter von hohem Widerstande mit den Klemmen einer Stromquelle von hoher Frequenz und hoher Spannung verbunden ist; infolge der Wirkung des den Leiter umgebenden Gases eine beträchtliche Zerstreung der Energie, hauptsächlich an den Enden des Leiters, stattfinden kann. Infolgedessen kann der Strom durch einen

Querschnitt des Leiters in einem zwischen den Enden gelegenen mittleren Punkte viel kleiner sein als durch einen Querschnitt in der Nähe der Enden. Ferner geht der Strom hauptsächlich durch die äußeren Teile des Leiters, aber diese Wirkung ist zu unterscheiden von der Oberflächenwirkung in dem gewöhnlichen Sinne, da die letztere auch in einem kontinuierlichen inkompressiblen Medium vorkommen würde oder sollte. Wenn sehr viele Glühlampen in Hintereinanderschaltung mit einer Quelle solcher Ströme verbunden sind, so können die Lampen an den Enden hell brennen, während diejenigen in der Mitte vollständig dunkel bleiben können. Dies rührt hauptsächlich, wie oben bemerkt, von dem Bombardement her. Aber auch wenn die Ströme konstant

sind, vorausgesetzt daß die Spannungsdifferenz sehr groß ist, werden die Lampen an dem Ende heller brennen als diejenigen in der Mitte. In solchem Falle findet kein rhythmisches Bombardement statt und das Resultat wird ganz und gar von der Streuung hervorgebracht. Diese Leakage oder Zerstreuung in den Raum, wenn die Spannung hoch ist, ist beträchtlich, wenn Glühlampen verwendet werden, und noch beträchtlicher bei Lichtbogen, denn die letzteren wirken wie Flammen. Im Allgemeinen natürlich ist die Zerstreuung bei konstanten Strömen viel geringer als bei veränderlichen.

Ich habe einen Versuch vorbereitet, welcher in interessanter Weise die Wirkung der seitlichen Ausströmung illustriert. Wird eine sehr lange Röhre über dem Pole einer Spule hoher Frequenz angebracht, so ist die Leuchtkraft in der Nähe des Poles am größten und fällt allmählich gegen das entfernte Ende hin ab. Dies tritt deutlicher hervor, wenn die Röhre eng ist.

Eine enge Röhre von etwa 12 mm Durchmesser und 30 cm Länge (Fig. 25) ist an einem ihrer Enden in einen dünnen Faden f von beinahe einem Meter Länge ausgezogen. Die Röhre ist in eine messingne Fassung T gesteckt, welche auf den Pol T_1 der Induktionsspule aufgeschraubt werden kann. Die in der Röhre durchfließende Entladung beleuchtet zuerst den unteren Teil derselben, der von verhältnismäßig großem Querschnitt ist; durch den langen Glasfaden kann die Entladung aber nicht gehen. Allmählich jedoch wird das verdünnte Gas im Innern der Röhre erwärmt und mehr leitend und es breitet sich die Entladung auch in den Glasfaden aus. Diese Ausbreitung geht so langsam vor sich, daß es eine halbe Minute oder länger dauern kann, bis die Entladung bis zur Spitze des Glasfadens vorgegangen ist, der dann das Aussehen eines stark leuchtenden dünnen Fadens besitzt. Durch Regulierung der Spannung an der Klemme kann man bewirken, daß sich das Licht mit jeder beliebigen Geschwindigkeit aufwärts bewegt. Sobald jedoch der Glasfaden einmal erwärmt ist, bricht die Entladung augenblicklich seiner ganzen Länge nach durch. Der hierbei zu bemerkende interessante Punkt ist der, daß, je höher die Frequenz der Ströme, oder mit andern Worten, je größer relativ die seitliche Zerstreuung ist, man das Licht um so langsamer durch den Faden sich ausbreiten lassen kann. Dieser Versuch wird am besten mit einer bis zu hohem Grade evakuierten und frisch hergestellten Röhre ausgeführt. Ist die Röhre schon eine Zeit lang benutzt worden, so schlägt der Versuch oft fehl. Möglicherweise ist die allmäh-

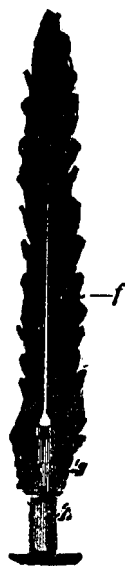


Fig. 25.

liche und langsame Verschlechterung des Vakuums die Ursache hiervon. Diese langsame Fortpflanzung der Entladung durch eine sehr enge Glasröhre entspricht genau der Fortpflanzung der Wärme durch einen an dem einen Ende erwärmten Stab. Je schneller die Wärme seitlich abgeführt wird, um so längere Zeit braucht die Wärme, um das entfernte Ende zu erwärmen. Wenn der Strom einer Spule von niedriger Frequenz durch den Faden der Länge nach gesandt wird, so ist die seitliche Zerstreung gering und die Entladung bricht beinahe ohne Ausnahme augenblicklich durch.

Nach diesen Versuchen und Bemerkungen, welche die Wichtigkeit der Diskontinuität oder atomischen Struktur des Mediums dargetan haben und die dazu dienen werden, wenigstens bis zu gewissen Grade das Wesen der vier Arten von Lichtwirkungen selbst vorzuführen. Des höheren Interesses wegen

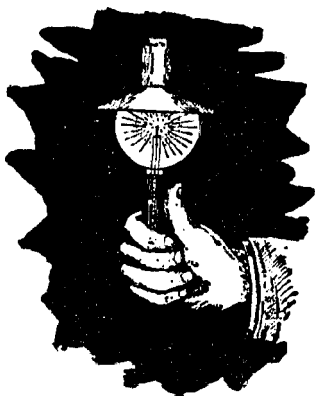


Fig. 26.



Fig. 27.

will ich dies in einer Weise tun, die vielen von Ihnen neu sein dürfte. Sie haben vorher gesehen, daß wir jetzt die elektrische Schwingung einem Körper mittels eines einzigen Drahtes oder Leiters irgend welcher Art zuführen können. Da der menschliche Körper ein Leiter ist, so kann ich die Schwingung durch meinen Körper leiten.

Zunächst verbinde ich, wie bei einigen früheren Versuchen, meinen Körper mit der einen Klemme eines Hochspannungstransformators und nehme in meine Hand eine evakuierte Lampenkugel, die einen kleinen Kohlenknopf enthält, der auf einem nach außen führenden Platindraht befestigt ist. der

Knopf wird glühend, sobald der Transformator in Tätigkeit gesetzt ist (Fig. 26). Ich kann auch einen leitenden Schirm über die Kugel setzen, der zur Verstärkung der Wirkung dient, aber nicht notwendig ist. Auch ist es nicht erforderlich, daß sich der Knopf in leitender Verbindung mit der Hand mittels eines durch das Glas hindurchführenden Drahtes befindet, denn es kann durch das Glas selbst hindurch infolge der Induktionswirkung genügend Energie Übertragen werden, um den Knopf glühend zu machen.

Sodann nehme ich eine stark evakuierte Glasröhre mit einem kräftig phosphoreszierenden Körper im Innern, über welchem eine kleine Aluminiumplatte an einem nach außen führenden Platindraht angebracht ist. Alsdann erregen die durch meinen Körper fließenden Ströme ein intensives Phosphoreszieren in der Röhre (Fig. 27). Nun nehme ich in meine Hand eine einfache evakuierte Röhre; das Gas im Innern der Röhre wird in gleicher Weise glühend oder phosphoreszierend (Fig. 28). Schließlich nehme ich in meine Hand einen



Fig. 28.



Fig. 29.

Draht, ob derselbe blank ist oder mit einer dicken Isolation bedeckt, tut nichts zur Sache; die elektrische Schwingung ist so intensiv, daß der Draht mit einer leuchtenden Schicht bedeckt ist. (Fig. 29).

Ich muß nun jeder dieser Erscheinungen einige wenige Worte widmen. An erster Stelle will ich das Glühen eines Knopfes oder überhaupt eines festen Körpers betrachten und einige Umstände erwähnen, die auf alle diese Erscheinungen in gleicher Weise anwendbar sind, es wurde vorher darauf hingewie-

sen, daß, wenn ein dünner Leiter, wie z. B. ein Glühlampenfaden, mit dem einen Ende an die Klemme eines Transformators von hoher Spannung angeschlossen wird, der Faden teilweise durch Leitungsstrom und teilweise durch Bombardement der Gasmoleküle ins Glühen kommt. Je kürzer und dicker der Faden ist, um so wichtiger wird das letztere, und schließlich muß, wenn man den Faden auf einen bloßen Knopf reduziert, die gesamte Wärmewirkung praktisch dem Bombardement zugeschrieben werden. Daher wird in dem vorher gezeigten Versuch der Knopf durch das rhythmische Anprallen frei beweglicher kleiner Körper in der Lampenbirne glühend. Diese Körper können die Moleküle des rückständigen Gases, Staubteilchen oder abgetrennte Stückchen der Elektrode sein; mögen sie sein, was sie wollen, sicher ist, daß die Erwärmung des Knopfes wesentlich bedingt ist durch den Druck solcher frei beweglichen Teilchen oder überhaupt aus Atomen bestehender Materie in der Lampenbirne. Die Erwärmung ist um so intensiver, je größer die Anzahl der Stöße per Sekunde und je größer die Energie jedes Stoßes ist. Der Knopf würde allerdings auch erwärmt werden, wenn er mit einer Quelle konstanter Spannung verbunden wäre. In solchem Falle würde durch die frei beweglichen, herumfliegenden Teilchen die Elektrizität von dem Knöpfe fortgeführt werden und die auf diese Weise fortgeführte Elektrizitätsmenge könnte genügend sein, um durch ihren Durchgang durch den Knopf letzteren zum Glühen zu bringen. Das Bombardement aber könnte in solchem Falle nicht von großer Bedeutung sein. Aus diesem Grunde würde ein verhältnismäßig sehr großer Energiezufluß zum Knöpfe erforderlich sein, um diesen bei konstanter Spannung im Glühen zu erhalten. Je höher die Frequenz der elektrischen Impulse, mit um so größerer Ökonomie kann der Knopf glühend erhalten werden. Einer der Hauptgründe hierfür ist meines Erachtens der, daß bei Stromstößen von sehr hoher Frequenz ein geringerer Austausch der frei beweglichen Teilchen um die Elektrode herum stattfindet, und dies bedeutet, daß in der Glasbirne die erwärmte Luft mehr in der unmittelbaren Umgebung des Knopfes festgehalten wird. Wird eine doppelte Lampenkugel, wie in Fig. 30 ersichtlich ist, hergestellt, die aus einer großen Kugel *B* und einer kleinen *b* besteht, deren jede wie üblich einen an einem Platindraht *w* bzw. *w₁* befestigten Kohlenfaden /"enthält, so findet man, daß, wenn beide Kohlenfäden *ff* genau gleich sind, weniger Energie erforderlich ist, um den Faden in der Kugel *b* auf einem gewissen Grade des Glühens zu erhalten, als den in der Kugel *B*. Dies hat seinen Grund in dem Festhalten der beweglichen Teilchen um den Knopf herum. Ferner ist in diesem Falle als festgestellt zu betrachten, daß der Faden in der kleinen Kugel *b*, nachdem er eine gewisse Zeit hindurch glühend erhalten

worden ist, weniger abgenutzt ist. Dies ist eine notwendige Folge des Umstandes, daß das Gas in der kleinen Kugel stark erwärmt und daher ein sehr guter Leiter wird, und an dem Knopf weniger Arbeit geleistet wird, weil das Bombardement weniger intensiv wird, sobald die Leitungsfähigkeit des Gases zunimmt. Bei dieser Konstruktion wird natürlich die kleine Kugel sehr heiß, und wenn dieselbe eine hohe Temperatur erreicht hat, so wächst die Leitung und Strahlung nach außen. Bei einer andern Gelegenheit habe ich Lampenbirnen vorgezeigt, bei denen dieser Übelstand zum größten Teil vermieden war. Bei diesen war eine sehr kleine einem feuerbeständigen Knopf enthaltende Kugel in einer großen Kugel angebracht und der Raum zwischen den Wänden beider stark evakuiert. Die äußere große Kugel blieb bei diesen Konstruktionen verhältnismäßig kalt. Wurde die große Kugel auf die Luftpumpe gesetzt und das Vakuum zwischen den Wänden beider Kugeln durch das anhaltende Wirken der Pumpe permanent erhalten, so blieb die äußere Kugel ganz kalt, während der Knopf in der kleinen Kugel im Glühen blieb. Wurde aber die große Kugel zugeschmolzen und der Knopf in der kleinen Kugel eine Zeit lang glühend erhalten, so wurde auch die große Kugel warm. Hieraus schließe ich, daß, wenn der luftleere Weltenraum (wie Professor *Dewar* findet) die Wärme nicht leiten kann, dies nur infolge unserer rapiden Bewegung durch den Raum oder, allgemein gesprochen, infolge der Bewegung des Mediums relativ zu uns der Fall ist, denn ein permanenter Zustand würde ohne beständige Erneuerung des Mediums nicht unterhalten werden können. Ein Vakuum kann, darauf weisen alle Erfahrungen hin, um einen heißen Körper herum auf die Dauer nicht aufrecht erhalten werden.

Bei den eben erwähnten Konstruktionen würde die kleine Kugel innerhalb, wenigstens in der ersten Zeit, das ganze Bombardement gegen die äußere große Kugel verhindern. Es kam mir dann der Gedanke festzustellen, wie sich ein Metallsieb in dieser Beziehung verhalten würde, und es wurden verschiedene Kugeln wie die in Fig. 31 abgebildete zu diesem Zwecke hergestellt. In einer Kugel *b* war ein dünner Faden *f* (oder Knopf) an einem Platindraht *w* befestigt, der durch einen Glasstiel hindurch nach außen führte. Der Faden *f* war von einem Drahtgeflecht *s* umgeben. Bei Versuchen mit solchen Kugeln ergab sich, daß ein Geflecht mit weiten Maschen dem Anschein nach das Bombardement gegen die Kugel *b* nicht im Geringsten beeinflusste. War das Vakuum hoch, so wurde der Schatten des Drahtgeflechtes deutlich auf die Kugel projiziert, und die letztere wurde in kurzer Zeit heiß. Bei einigen Kugeln war das Drahtgeflecht *s* mit einem in dem Glase eingeschmolzenen Platindraht verbunden. Wurde dieser Draht mit der andern Klemme der Induktionsspule (wobei die

elektromotorische Kraft in diesem Falle niedrig gehalten wurde) oder mit einer isolierten Platte verbunden, so nahm das Bombardement gegen die äußere Kugel *b* ab. Nimmt man ein feinmaschiges Drahtgeflecht, so wird das Bombardement gegen die Kugel *b* stets vermindert, aber selbst dann, wenn die Evakuierung sehr weit getrieben wurde und die Spannung des Transformators sehr hoch war, wurde die Kugel *b* bombardiert und rasch erhitzt, obwohl wegen der Kleinheit der Maschen kein Schatten des Drahtgeflechtes sichtbar war. Eine Glasröhre jedoch oder ein anderer kontinuierlicher Körper, der so angebracht wurde, daß er den Kohlenfaden umgab, schnitt das Bombardement vollständig ab und eine Zeit lang blieb die äußere Kugel *b* vollkommen kalt. Wenn natürlich die Glasröhre genügend erwärmt war, so konnte das Bombardement gegen die äußere Kugel sofort bemerkt werden. Die Versuche mit diesen Glasbirnen scheinen darzutun, daß die Geschwindigkeiten der fortgeschleuderten Moleküle oder Teilchen beträchtlich sein müssen (wenn auch ganz unbedeutend im Vergleich zur Geschwindigkeit des Lichts), sonst würde es schwer zu verstehen sein, wie dieselben ein feines Drahtgeflecht unbeeinträchtigt durchdringen können, wofür man nicht etwa fände, daß solche kleinen Teilchen oder Atome nicht direkt auf meßbare Entfernungen beeinflußt werden können. Was die Geschwindigkeit der fortgeschleuderten Atome anlangt, so hat sie Lord *Kelvin* jüngst in einer gewöhnlichen *Crookes'schen* Röhre auf ca. einen Kilometer in der Sekunde oder so herum geschätzt. Da die mit einer Spule für disruptive Entladung erhältlichen Spannungen viel höher sind als bei gewöhnlichen Spulen, so müssen die Geschwindigkeiten natürlich viel größer sein, wenn eine Lampenbirne mittels einer solchen Spule erleuchtet wird. Nimmt man an, daß die Geschwindigkeit fünf Kilometer Beträge und durch die ganze Bahn gleichförmig sei, wie es in einem stark evakuierten Gefäß der Fall sein sollte, so würde falls die alternierenden Elektrisierungen der Elektrode eine Frequenz von fünf Millionen hätten, die größte Entfernung, bis zu welcher ein Teilchen von der Elektrode sich entfernen könnte, ein Millimeter sein, und wenn eine direkte Wirkung auf dasselbe bei dieser Entfernung möglich wäre, so würde der Wechsel der Elektrodenmaterie oder der Atome sehr langsam vor sich gehen und es würde praktisch kein Bombardement gegen die Birne stattfinden. Dies sollte wenigstens der Fall sein, wenn die Wirkung einer Elektrode auf die Atome des rückständigen Gases von derselben Beschaffenheit wäre wie die Wirkung auf elektrisierte Körper, die wir wahrnehmen können. Ein heißer in einer evakuierten Glasbirne eingeschlossener Körper erzeugt stets ein Bombardement der Atome, aber ein heißer Körper hat keinen bestimmten Rhythmus, denn seine Moleküle machen Schwin-

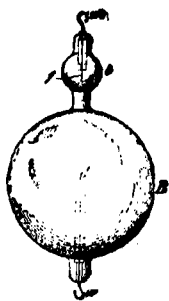


Fig. 30.

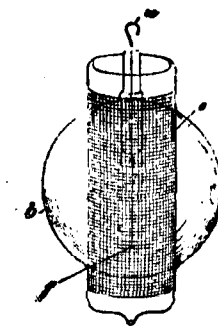


Fig. 31.

gungen aller Art.

Wird eine einen Knopf oder einen Kohlenfaden enthaltende Glasbirne so stark evakuiert, als es mit der größten Sorgfalt und bei Verwendung der besten Hilfsmittel möglich ist, so beobachtet man oft, daß die Entladung zunächst nicht hindurchzugehen vermag, daß jedoch nach einiger Zeit, wahrscheinlich infolge gewisser Änderungen innerhalb der Birne, die Entladung schließlich durchschlägt und der Knopf glühend wird. In der Tat scheint es, daß, je höher der Grad der Evakuierung ist, um so leichter das Glühen hervorgerufen wird. Es dürften keine andern Ursachen bestehen, denen in solchem Falle das Glühen zugeschrieben werden könnte, als das Bombardement oder eine ähnliche Wirkung des rückständigen Gases oder überhaupt materieller Teilchen. Wenn aber die Birne mit der größten Sorgfalt ausgepumpt ist, können dann diese eine wichtige Rolle spielen? Angenommen das Vakuum in der Birne sei ziemlich vollkommen, dann gipfelt das größte Interesse in der Frage: Ist das den ganzen Weltenraum durchdringende Medium kontinuierlich oder besteht es aus Atomen? Bestände es aus Atomen, so könnte die Erwärmung eines leitenden Knopfes oder Fadens in einem evakuierten Gefäß zum größten Teile von dem Bombardement des Äthers herrühren und dann müßte die Erwärmung eines von Strömen hoher Frequenz oder hoher Spannung durchflossenen Leiters überhaupt durch das Verhalten eines derartigen Mediums modifiziert werden; dann läßt auch die Oberflächenwirkung, die scheinbare Vermehrung des *Ohm'schen* Widerstandes u.s.w. wenigstens zum Teil eine verschiedene Erklärung zu.

Es stimmt jedenfalls besser mit vielen bei Strömen hoher Frequenz beobachteten Erscheinungen überein, daran festzuhalten, daß der ganze Raum von

freien Atomen durchdrungen ist, als denselben frei von diesen und dunkel und kalt anzunehmen, wie er doch sein müßte, wenn er mit einem kontinuierlichen Medium erfüllt wäre, da es in einem solchen weder Wärme noch Licht geben kann. Wird also durch unabhängige Teilchen oder durch die Vibration eines kontinuierlichen Mediums Energie übertragen? Diese wichtige Frage ist bis jetzt durchaus noch nicht positiv beantwortet worden. Indessen haben die meisten der hier betrachteten Wirkungen, insbesondere die Lichtwirkungen, das Glühen oder die Phosphoreszenz, die Existenz freier Atome zur Voraussetzung und würden ohne diese unmöglich sein.

Bezüglich des Glühens eines feuerbeständigen Knopfes (oder Fadens) in einem evakuierten Gefäße, welches einen der Gegenstände dieser Untersuchung bildete, können die Haupterfahrungen, die bei der Herstellung solcher Birnen als Anhaltspunkte dienen können, folgendermaßen zusammengefaßt werden: 1) Der Knopf sollte so klein als möglich, von kugelförmiger Gestalt mit glatter oder polierter Oberfläche und von feuerbeständigem Material sein, welches einer Verdampfung möglichst gut widersteht. 2) Der Träger des Knopfes sollte sehr dünn und durch ein Aluminium- oder Glimmerblättchen geschützt sein, wie ich bei anderer Gelegenheit beschrieben habe. 3) Die Evakuierung der Birne sollte so hoch wie möglich sein. 4) Die Frequenz der Ströme sollte so hoch sein, als sich praktisch erreichen läßt. 5) Die Ströme sollten harmonisch ansteigen und fallen, ohne plötzliche Unterbrechungen. 6) Die Wärme sollte auf den Knopf konzentriert werden durch Einschließung desselben in eine kleine Kugel oder in anderer Weise. 7) Der Raum zwischen den Wänden der kleinen Kugel und der äußeren Kugel sollte stark evakuiert sein.

Die meisten der soeben bezüglich des Glühens eines festen Körpers angestellten Betrachtungen können in gleicher Weise auf die Phosphoreszenz angewendet werden. In der Tat wird in einem ausgepumpten Gefäße die Phosphoreszenz in der Regel primär durch das kräftige Anschlagen des Stromes der von der Elektrode losgetrennten Atome gegen den phosphoreszierenden Körper erregt. Selbst in Fällen, wo kein sichtbares Zeichen eines solchen Bombardements vorhanden ist, wird meines Erachtens die Phosphoreszenz durch heftige Stöße der Atome erregt, welche nicht notwendig von der Elektrode losgerissen sein müssen, sondern von derselben durch Induktion unter Vermittelung des Mediums oder von Ketten anderer Atome beeinflußt werden. Daß mechanische Stöße bei der Erregung der Phosphoreszenz in einer Lampenbirne eine wichtige Rolle spielen, ist aus dem folgenden Versuche ersichtlich. Nimmt man eine Birne von der Einrichtung, wie sie Fig. 10 zeigt, und evakuiert sie mit der größten Sorgfalt, so daß die Entladung nicht übergehen

kann, so wirkt der Faden f durch elektrostatische Induktion auf die Röhre t und die letztere wird in Schwingung versetzt. Ist die Röhre o etwas weit, etwa 25 mm, so kann der Faden in so heftige Schwingungen versetzt werden, daß er jedesmal, wenn er an die Glasröhre anschlägt, Phosphoreszenz erregt. Aber die Phosphoreszenz hört auf, wenn der Faden zur Ruhe kommt. Durch Variation der Frequenz der Ströme kann die Schwingung angehalten und wiederum in Gang gesetzt werden. Nun hat der Faden seine eigene Schwingungsperiode und Gerät, wenn die Frequenz der Stöße derart ist, daß Resonanz stattfindet, leicht in Schwingungen, wenn auch die Spannung der Ströme gering ist. Ich habe oft beobachtet, daß der Faden in der Birne durch solche mechanische Resonanz zerstört wurde. Der Faden schwingt in der Regel so schnell, daß man es nicht sehen und der Experimentator zunächst getäuscht werden kann. Wenn ein solcher Versuch wie der beschriebene sorgfältig ausgeführt wird, braucht die Spannung der Ströme nur gering zu sein, und aus diesem Grunde schließe ich, daß die Phosphoreszenz dann von dem mechanischen Stoße des Fadens gegen das Glas herrührt, gerade so wie dieselbe erzeugt wird, wenn man einen Hut Zucker mit einem Messer streicht. Der durch die fortgeschleuderten Atome erzeugte mechanische Stoß wird leicht wahrgenommen, wenn man eine einen Knopf enthaltende Lampenbirne in die Hand nimmt und den Strom plötzlich einschaltet. Ich glaube, daß eine solche Birne durch Einschalten der Resonanzbedingungen zerbrochen werden könnte.

Bei dem vorher erwähnten Versuch könnte man natürlich auch sagen, daß die Glasröhre, nachdem sie mit dem Faden in Berührung gekommen ist, an dem Berührungspunkte eine Ladung von gewissen Vorzeichen behält. Wenn nun der Faden das Glas wiederum an demselben Punkte berührt, während derselbe entgegengesetzt geladen ist, so gleichen sich die Ladungen unter Lichtentwicklung aus. Aber durch eine solche Erklärung würde nichts Wesentliches gewonnen werden. Es unterliegt keiner Frage, daß die den Atomen oder dem Glase mitgeteilten anfänglichen Ladungen bei der Erregung der Frequenz eine gewisse Rolle spielen. Wird z. B. eine phosphoreszierende Birne zuerst durch eine Spule hoher Frequenz erregt, indem man sie mit der einen Klemme der letzteren verbindet und merkt man sich den Grad der Lichtstärke, und wird sodann die Birne von einer *Holtz'schen* Maschine stark geladen, indem man sie am besten mit dem positiven Pole der Maschine verbindet, so findet man, wenn die Birne dann wieder mit der Klemme der Spule hoher Frequenz verbunden wird, daß die Phosphoreszenz weit intensiver ist.

Bei anderer Gelegenheit habe ich die Möglichkeit gewisser Phosphoreszen-

erscheinungen in Glasbirnen betrachtet, welche durch das Glühen einer unendlich dünnen Schicht an der Oberfläche des phosphoreszierenden Körpers erzeugt werden. Sicher ist der Anprall der Atome kräftig genug, um intensives Glühen durch die Kollisionen zu erzeugen, da sie einen Körper von beträchtlicher Größe rasch zu einer hohen Temperatur bringen. Wenn überhaupt solche Wirkungen existieren, so ist der beste Apparat zur Erzeugung der Phosphoreszenz in einer Glasbirne, den wir bis jetzt kennen, eine disruptive Entladungsspule, welche eine enorme Spannung bei nur wenigen Fundamentalladungen, etwa 25—30 per Sekunde, also gerade genug gibt, um auf das Auge einen kontinuierlichen Eindruck hervorzubringen. Es ist eine Tatsache, daß eine solche Spule Phosphoreszenz unter fast allen Verhältnissen und bei jedem Grade der Evakuierung erzeugt, und ich habe Wirkungen, die offenbar von Phosphoreszenz herrühren, auch bei gewöhnlichem Atmosphärendrucke beobachtet, falls die Spannungen außerordentlich hoch waren. Wenn jedoch phosphoreszierendes Licht durch die Ausgleichung der Ladungen elektrisierter Atome (was man darunter schließlich auch verstehen möge) erzeugt wird, so wird die Lichterzeugung um so ökonomischer sein, je höher die Frequenz der Stromimpulse oder alternierenden Elektrisierungen ist. Es ist eine lange bekannte und bemerkenswerte Tatsache, daß sämtliche phosphoreszierenden Körper schlechte Elektrizitäts- und Wärmeleiter sind, und daß alle Körper aufhören, phosphoreszierendes Licht auszusenden, wenn sie auf eine gewisse Temperatur gebracht sind. Leiter dagegen besitzen diese Eigenschaft nicht. Es gibt nur wenige Ausnahmen von der Regel. Eine derselben bildet die Kohle. *Becquerel* beobachtete, daß Kohle bei einer bestimmten hohen Temperatur, welche der dunklen Rotgluthitze vorhergeht, phosphoresziert. Diese Erscheinung kann man leicht an Glasbirnen beobachten, welche mit einer etwas großen Kohlenelektrode (z. B. einer Kugel von 6 mm Durchmesser) versehen sind. Wird der Strom eingeschaltet, so bedeckt nach einigen Sekunden eine schneeweiße Haut die Elektrode, kurz bevor sie dunkelrot wird. Ähnliche Wirkungen sind bei anderen leitenden Körpern beobachtet worden, doch dürften wahrscheinlich nicht viele Gelehrte dieselben eigentlicher Phosphoreszenz zuschreiben. Ob wirkliches Glühen mit der durch den Anprall der Atome oder durch mechanische Stöße erregten Phosphoreszenz etwas zu tun hat, bleibt noch zu entscheiden, aber es ist eine Tatsache, daß alle Bedingungen, welche darauf hinzielen, die Wärmewirkung an dem Punkte des Anpralles zu lokalisieren und zu verstärken, beinahe ausnahmslos die günstigsten für die Erzeugung der Phosphoreszenz sind. So ist z. B., wenn die Elektrode sehr klein, oder, was im Allgemeinen dasselbe sagen will, die elektrische Dichtigkeit groß

ist, wenn die Spannung hoch und das Gas stark verdünnt ist, Umstände, die sämtlich hohe Geschwindigkeit der fortgeschleuderten Atome oder materiellen Teilchen und demgemäß heftige Stöße zur Voraussetzung haben, die Phosphoreszenz sehr intensiv. Wenn eine mit einer großen und einer kleinen Elektrode versehene Birne an dem Pole einer Induktionsspule angebracht wird, so erregt die kleine Elektrode Phosphoreszenz, während die größere dies nicht tun kann wegen der geringeren elektrischen Dichtigkeit und somit kleineren Geschwindigkeit der Atome. Eine mit einer großen Elektrode versehene Birne kann mit der Hand angefaßt werden, während die Elektrode mit der Klemme der Spule verbunden ist, und eine Phosphoreszenz kann nicht stattfinden. Wird aber die Birne, anstatt mit der Hand angefaßt zu werden, mit einem zugespitzten Drahte berührt, so breitet sich die Phosphoreszenz sofort durch die ganze Birne aus, wegen der großen Dichtigkeit an dem Berührungspunkte. Bei niedrigen Frequenzen scheint es, als ob Gase von großem Atomgewicht intensivere Phosphoreszenz erregen als diejenigen von geringerem Atomgewicht, z. B. Wasserstoff. Bei hohen Frequenzen sind die Beobachtungen nicht zuverlässig genug, um Schlüsse daraus zu ziehen. Sauerstoff bringt bekanntlich ausnahmsweise starke Wirkungen hervor, die zum Teil von chemischer Wirkung herrühren können. Eine Birne mit Wasserstoffrückstand scheint am leichtesten erregt zu werden. Elektroden, welche am leichtesten abgenutzt werden, erzeugen in Birnen intensivere Phosphoreszenz, indessen dauert dieses Verhältnis wegen der Schwächung des Vakuums und der Ablagerung von Elektrodenmaterie auf den phosphoreszierenden Flächen nicht an. Einige Flüssigkeiten, wie z. B. Öle, erzeugen prächtige Phosphoreszenz (oder Fluoreszenz?) -Wirkungen, doch dauern letztere nur wenige Sekunden. Wenn daher eine Birne eine Spur von Öl an den Wänden zeigt, und der Strom eingeschaltet wird, so dauert die Phosphoreszenz nur wenige Augenblicke, bis das Öl beseitigt ist. Von allen bis jetzt probierten Körpern Schein Schwefelzink für Phosphoreszenz am empfänglichsten zu sein. Einige durch die Güte des Herrn Prof. *Henry* in Paris erhaltene Proben wurden in vielen der Birnen verwendet. Einer der Mängel dieses Sulphids besteht darin, daß es sein Lichtemissionsvermögen schon bei einer keineswegs hohen Temperatur verliert. Es kann daher nur bei schwachen Intensitäten benutzt werden. Eine Beobachtung, die der Erwähnung wert sein dürfte, ist die, daß es unter dem heftigen Bombardement von einer Aluminiumelektrode aus eine schwarze Farbe annimmt, aber, seltsam genug, wieder zum ursprünglichen Zustande zurückkehrt, sobald es sich abkühlt.

Die wichtigste Tatsache, die sich beim Verfolg der Untersuchungen nach

dieser Richtung ergeben hat, ist die, daß in allen Fällen zur Erregung von Phosphoreszenz mit möglichst geringem Energieaufwande die Einhaltung gewisser Bedingungen notwendig ist. Es gibt nämlich, gleichgültig, welches die Frequenz der Ströme, der Grad der Evakuierung und die Beschaffenheit der in der Birne enthaltenen Körper ist, eine bestimmte Spannung (falls man annimmt, daß die Birne nur von einem Pole aus erregt werde) oder eine bestimmte Spannungsdifferenz (wenn man annimmt, daß die Birne mit beiden Polen erregt werde), welche das ökonomischste Resultat hervorbringt. Wird die Spannung erhöht, so kann beträchtliche Energie verschwendet werden, ohne daß irgendwie mehr Licht erzeugt würde, und wird dieselbe erniedrigt, so ist andererseits die Lichtproduktion nicht so ökonomisch. Die genauen Bedingungen, unter denen die besten Resultate erhalten werden, scheinen von vielen Dingen verschiedener Art abzuhängen und bleiben von anderen Experimentatoren noch zu erforschen; es wird aber bei Benutzung solcher phosphoreszierender Birnen mit Sicherheit zu beobachten sein, ob man die besten Resultate erhält.

Gehen wir nun zu den interessantesten unter diesen Erscheinungen, nämlich dem Glühen oder Phosphoreszieren von Gasen bei niedrigem Drucke oder bei dem gewöhnlichen Drucke der Atmosphäre über, so müssen wir die Erklärung dieser Erscheinungen in denselben primären Ursachen, d. h. in Stößen oder dem Anprallen der Atome, suchen. Gerade so wie die Moleküle oder Atome, welche auf einen festen Körper aufschlagen, Phosphoreszenz in demselben erregen oder ihn glühend machen, so werden sie durch gegenseitige Zusammenstöße ähnliche Erscheinungen hervorbringen. Dies ist jedoch eine sehr ungenügende Erklärung und betrifft nur den rohen Mechanismus. Licht wird durch Schwingungen hervorgebracht, die mit fast unbegreiflicher Geschwindigkeit vor sich gehen. Wenn wir aus der Energie, welche in der Form bekannter Ausstrahlung in einem bestimmten Raume enthalten ist, die Kraft berechnen, welche zur Erzeugung solcher rapiden Schwingungen erforderlich ist, so finden wir, daß obwohl die Dichtigkeit des Äthers unvergleichlich geringer als die jedes bekannten Körpers, selbst des Wasserstoffes ist, die Kraft ganz und gar unsere Begriffe übersteigt. Was ist diese Kraft, welche in mechanischem Maße Millionen von Kilogramm pro Quadratcentimeter betragen kann? Es ist im Lichte moderner Anschauungen elektrostatische Kraft. Es ist unmöglich, sich vorzustellen, wie ein Körper von meßbaren Dimensionen zu einem so hohen Potential geladen werden könnte, daß die Kraft zur Erzeugung dieser Schwingungen ausrichte. Lange bevor eine solche Ladung dem Körper mitgeteilt werden könnte, würde er in Atome zerstäuben! Die Sonne sendet Licht

und Wärme aus, und dasselbe tut eine gewöhnliche Flamme oder ein glühender Kohlenfaden, aber bei keinem von ihnen kann die Kraft erklärt werden, falls man annimmt, daß sie mit dem Körper als einem Ganzen verbunden sei. Nur in einem Falle können wir dieselbe erklären, nämlich wenn wir sie mit dem Atom identifizieren. Ein Atom ist so klein, daß, wenn dasselbe durch Berührung mit einem elektrisierten Körper geladen und angenommen wird, daß die Ladung den nämlichen Gesetzen folgt, welche bei Körpern von meßbaren Dimensionen gelten, es eine Elektrizitätsmenge zurückbehalten muß, welche diese Kräfte und ungeheuren Schwingungsgeschwindigkeiten vollständig zu erklären vermag. Aber das Atom verhält sich in dieser Beziehung höchst eigenartig: es nimmt stets dieselbe „Ladung“ an.

Es ist sehr wahrscheinlich, daß Resonanzschwingungen bei allen Energieäußerungen in der Natur eine sehr wichtige Rolle spielen. Die gesamte durch den ganzen Raum verteilte Materie befindet sich in Schwingungen und es sind alle möglichen Schwingungsgeschwindigkeiten von dem niedrigsten musikalischen Tone bis zur höchsten Stufe der chemischen Strahlen vertreten; daher findet ein Atom oder ein Komplex von Atomen, mag seine Schwingungsperiode sein, welche sie Wille, stets eine Schwingung, mit welcher er in Resonanz ist. Wenn wir die enorme Geschwindigkeit der Lichtschwingungen betrachten, so erkennen wir die Unmöglichkeit, solche Schwingungen direkt mit irgend einem Apparate von meßbaren Dimensionen hervorzubringen, und wir werden zu dem einzig möglichen Verfahren zur Erreichung des Zieles, Lichtwellen auf elektrischem Wege und ökonomisch zu erzeugen, hingetrieben, nämlich auf die Moleküle oder Atome eines Gases einzuwirken und sie zum Zusammenstoß und zur Vibration zu bringen. Wir müssen daher fragen: Wie kann man auf frei Moleküle oder Atome einwirken?

Tatsache ist, daß man auf sie durch elektrostatische Kraft einwirken kann, wie aus vielen dieser Versuche hervorgeht. Durch Veränderung der elektromotorischen Kraft können wir die Atome in heftige Bewegung und zur Kollision bringen, was mit Wärme- und Lichtentwicklung verbunden ist. Ob wir dieselben auch auf andere Weise beeinflussen können, ist nicht unzweifelhaft bewiesen. Wenn eine Lichtentladung in einer geschlossenen evakuierten Röhre erzeugt wird, ordnen sich dann die Atome noch unter irgend einem andern Einfluß als der in geraden Linien von Atom zu Atom wirkenden Kraft an? Erst kürzlich habe ich die gegenseitige Wirkung zwischen zwei Stromkreisen bei außeror-



Fig. 32.

dentlich großen Schwingungsgeschwindigkeiten untersucht. Wird eine Batterie von einigen Flaschen (c, c, c, c , Fig. 32) durch einen Primärkreis P von geringem Widerstande entladen (wobei die Schaltungen derart sind wie in Fig. 19a, 19b und 19c dargestellt) und beträgt die Frequenz der Schwingung viele Millionen, so bestehen zwischen nicht mehr als einige Zentimeter von einander entfernten Punkten des Primärkreises große Spannungsunterschiede. Diese Unterschiede können 4000 Volt per Zentimeter, wenn nicht mehr, betragen, wenn man den Maximalwert der elektromotorischen Kraft nimmt. Der Sekundärkreis s wird daher durch elektrostatische Induktion beeinflusst, die in solchen extremen Fällen von viel größerer Bedeutung ist wie die elektrodynamische. Solchen plötzlichen Stromstößen gegenüber sind sowohl der primäre wie der sekundäre Stromkreis schlechte Leiter und daher können zwischen benachbarten Punkten des sekundären Kreises große Spannungsdifferenzen erzeugt werden. Es können alsdann Funken zwischen den Drähten überspringen und Lichtströmungen im Dunkeln sichtbar werden, wenn das von der Entladung durch die Funkenstrecke $d d$ erzeugte Licht sorgfältig ausgeschlossen wird. Wenn man nun an Stelle des metallischen Sekundärkreises s eine geschlossene Vakuumröhre nimmt, so sind die Spannungsdifferenzen, welche in der Röhre durch elektrostatische Induktion von dem Primärkreise aus erzeugt werden, vollkommen ausreichend, um Teile derselben zu erregen; da aber die Punkte bestimmter Spannungsdifferenzen auf dem Primärkreise nicht fest bleiben, sondern im Allgemeinen beständig ihre Lage ändern, so wird ein Lichtstreifen in der Röhre hervorgebracht, der augenscheinlich das Glas nicht berührt, wie es der Fall sein würde, wenn die Punkte der größten und kleinsten Spannungsdifferenz auf dem Primärkreise fest wären. Ich will die Möglichkeit, daß eine solche Röhre allein durch elektrodynamische Induktion erregt werde, nicht ausschließen, da sehr tüchtige Physiker dieser Ansicht sind; allein meines Erachtens ist bis jetzt kein positiver Beweis dafür gegeben worden, daß sich Atome eines Gases in einer geschlossenen Röhre unter der Wirkung eines durch elektrodynamische Induktion in der Röhre erzeugten elektromotorischen Impulses zu Ketten anordnen. Ich habe bisher nicht vermocht, in einer noch so langen und noch so sehr evakuierten Röhre Schichten hervorzubringen, d. h. Schichten rechtwinklig zu der angenommenen Richtung der Entladung oder der Achse der Röhre, aber ich habe in einer weiten Lampenbime, in welcher dadurch, daß eine Entladung einer Batterie durch einen die Birne umgebenden Draht hindurchgesandt wurde, ein breiter Lichtstreifen entstand, deutlich einen schwach leuchtenden Kreis zwischen zwei Lichtstreifen, von denen der eine intensiver war, als der andere, wahrgen-

nommen. Ferner glaube ich bei meiner gegenwärtigen Erfahrung nicht, daß eine solche Gasentladung in einer geschlossenen Röhre vibrieren, d. h. als Ganzes vibrieren kann. Ich bin überzeugt, daß keine Entladung durch ein Gas hindurch vibrieren kann. Die Atome eines Gases verhalten sich in bezug auf plötzliche elektrische Impulse sehr merkwürdig. Die Gase scheinen solchen Impulsen gegenüber keine merkliche Trägheit zu besitzen, denn es ist eine Tatsache, daß, je höher die Frequenz der Stromimpulse ist, die Entladung um so freier durch das Gas hindurchgeht. Besitzt das Gas aber keine Trägheit, so kann es nicht vibrieren, denn für die frei Vibration ist eine gewisse Trägheit notwendig. Ich schließe hieraus, daß, wenn eine Blitzentladung zwischen zwei Wolken eintritt, keine Oszillation stattfinden kann, wie man erwarten sollte, wenn man die Kapazität der Wolken in Betracht zieht. Sobald aber die Blitzentladung die Erde trifft, findet stets eine Vibration — in der Erde, aber nicht in den Wolken — statt. Bei einer Gasentladung schwingt jedes Atom mit seiner eigenen Geschwindigkeit, aber es findet keine Vibration der leitenden gasförmigen Masse als eines Ganzen statt. Es ist dies eine wichtige Betrachtung für das für das große Problem der ökonomischen Lichterzeugung, da sie uns lehrt, daß wir, um dieses Resultat zu erreichen, Stromimpulse von sehr hoher Frequenz und notwendig auch von hoher Spannung verwenden müssen. Es ist eine Tatsache, daß Sauerstoff in einer Röhre ein intensiveres Licht erzeugt. Ist dies deshalb der Fall, weil Sauerstoffatome eine gewisse Trägheit besitzen und die Schwingungen nicht sofort wieder aufhören? Dann sollte aber Stickstoff ebenso gut, Chlorgas und Dämpfe vieler anderer Körper viel besser sein als Sauerstoff, wofern nicht etwa die magnetischen Eigenschaften des letzteren eine hervorragende Rolle spielen. Oder ist der Vorgang in der Röhre elektrolytischer Natur? Manche Beobachtungen sprechen sicher dafür, und zwar ist die wichtigste die, daß stets von den Elektroden Materie fortgeführt wird und das Vakuum in einer Birne nicht dauernd erhalten werden kann. Wenn ein solcher Vorgang wirklich stattfindet, so müssen wir wiederum zu hohen Frequenzen unsere Zuflucht nehmen, da bei diesen die elektrolytische Wirkung auf ein Minimum reduziert, wenn nicht ganz unmöglich gemacht werden würde. Es ist eine unläugbare Tatsache, daß bei sehr hohen Frequenzen, vorausgesetzt, daß die Impulse harmonischer Natur sind ähnlich den von einer Wechselstrommaschine erhaltenen, die Elektroden weniger abgenutzt werden und die Vakua länger andauern. Bei Spulen für disruptive Entladung finden plötzliche Spannungssteigerungen statt und die Vakua werden rascher verschlechtert, da die Elektroden in sehr kurzer Zeit abgenutzt werden. Bei einigen weiten Röhren, welche mit starken an Platindrähten w w_1

befestigten Kohlenblöcken $B B_1$ versehen waren (Fig. 33) und die bei Versuchen mit der disruptiven Entladung an Stelle der gewöhnlichen Luftstrecke benutzt wurden, wurde beobachtet, daß die Kohlenteilchen unter der Wirkung des kräftigen magnetischen Feldes, in welchem die Röhre sich befand, in regelmäßigen feinen Linien in der Mitte der Röhre abgelagert wurden, wie aus der Figur ersichtlich ist. Diese Linien wurden der Ablenkung oder Verdrehung der Entladung durch das magnetische Feld zugeschrieben, aber der Grund, warum die Ablagerung hauptsächlich da stattfand, wo das Feld am intensivsten war, erschien nicht ganz klar. Eine andere interessante Tatsache, welche beobachtet wurde, war die, daß das Vorhandensein eines starken magnetischen Feldes des Verschleiß der Elektroden vermehrt, wahrscheinlich wegen der von ihm hervorgebrachten schnellen Unterbrechungen, wodurch eigentlich eine höhere elektromotorische Kraft zwischen den Elektroden aufrecht erhalten wird.

Es würde noch vieles über die in Gasen unter geringem oder gewöhnlichem Drucke hervorgebrachten Lichtwirkungen zu sagen sein. Bei unserer gegenwärtigen Erfahrung können wir nicht behaupten, daß die eigentliche Natur dieser reizenden Erscheinungen genügend bekannt sei. Untersuchungen nach dieser Richtung hin werden aber mit ungewöhnlichem Eifer betrieben. Jeder Zweig der wissenschaftlichen Forschung hat seine Reize, aber elektrische Untersuchungen scheinen eine besondere Anziehungskraft zu besitzen, da es kei-

nen Versuch oder keine Beobachtung irgend welcher Art in dem Gebiete dieser wunderbaren Wissenschaft gibt, welche uns nicht mächtig anzöge. Und doch scheint es mir, daß von allen den merkwürdigen Dingen, die wir beobachten, eine Vakuumröhre, welche,



Fig. 33.

durch einen elektrischen Impuls von einer entfernten Quelle erregt, aus der Dunkelheit plötzlich hervortritt und das Zimmer mit ihrem schönen Lichte erleuchtet, eine der lieblichsten Erscheinungen ist, die unsere Augen entzücken können. Noch interessanter ist es, wenn wir durch Verminderung der Fundamentalentladungen durch den Luftraum auf eine sehr geringe Anzahl und durch Herumschwingen der Röhre alle möglichen Zeichnung in leuchtenden Linien hervorbringen. So nehme ich z. B. der Unterhaltung wegen eine lange gerade Röhre oder eine quadratische oder ein an einer geraden Röhre befestigtes Quadrat und ahme durch Herumschwingen derselben mit der Hand die Speichen eines Rades, eine *Gramme*'se Wicklung, eine Trommelwicke-

lung, die Wicklung eines Wechselstrommotors u.s.w. nach (Fig. 34). Aus der Ferne gesehen ist die Wirkung schwach und es geht viel von ihrer Schönheit verloren, aber in der Nähe gesehen oder wenn man die Röhre in der Hand hält, kann man ihrem Zauber nicht entgehen.

Bei der Vorführung dieser unbedeutenden Resultate habe ich nicht ver-

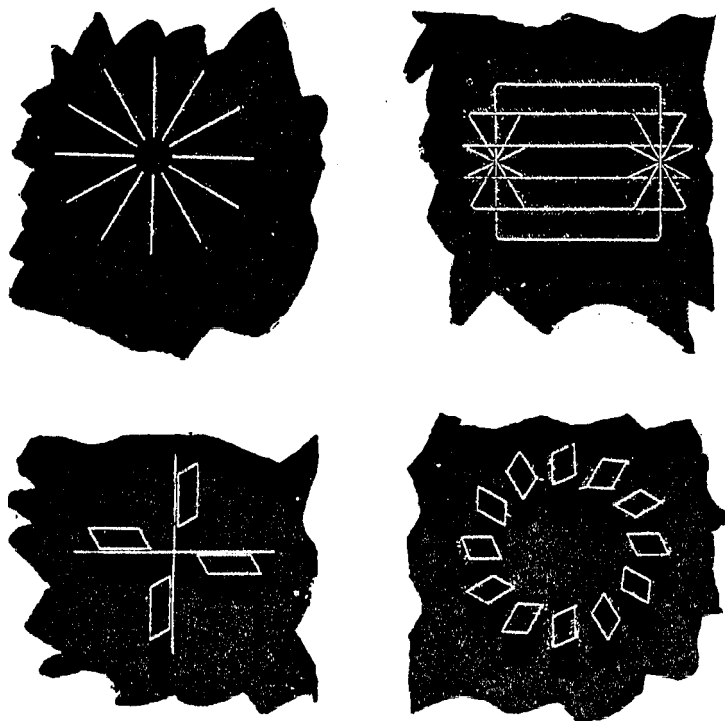


Fig. 34.

sucht, dieselben zu ordnen, wie es bei einer streng wissenschaftlichen Untersuchung zweckmäßig sein würde, bei welcher jedes nachfolgende Resultat eine logische Folge der vorhergehenden sein soll, so daß es von dem sorgfältigen Leser oder aufmerksamen Zuhörer im Voraus erraten werden könnte. Ich habe es vorgezogen, meine Kräfte hauptsächlich auf Vorbringung neuer Tatsachen oder Ideen zu konzentrieren, welche andern zur Anregung dienen können, und dies möge als eine Entschuldigung für den Mangel an Harmonie angesehen werden. Die Erklärungen der Erscheinungen wurden in gutem Glauben

und im Geiste eines Lernenden gegeben, der sich bemüht, eine bessere Erklärung für sie ausfindig zu machen. Es kann kein großer Schaden entstehen, wenn ein Studierender eine irrtümliche Ansicht annimmt, aber wenn große Geister irren, muß die Welt deren Irrtümer teuer bezahlen.

Zeittafel

- 1856 10. Juli: Nikola Tesla wird in Smiljan (Kroatien) als Sohn des serbisch-orthodoxen Geistlichen Milutin und seiner Gattin Djouka Tesla geboren.
- 1867 Teslas älterer Bruder Dane stirbt im Alter von 12 Jahren bei einem Unglücksfall.
- 1862 Übersiedelung nach Gospic. Besuch der Volksschule.
- 1866 Besuch des Realgymnasiums.
- 1871 Besuch des Höheren Realgymnasiums in Carlstadt.
- 1873 Tesla erkrankt an der Cholera; mehrere Monate bettlägerig.
- 1874 Aufenthalt zur Erholung im Gebirge. Tesla wird vom Militärdienst befreit.
- 1877 Beginn des Studiums an der Technischen Hochschule in Graz.
- 1879 Teslas Vater stirbt.
- 1880 Studium an der Universität in Prag.
- 1881 Anstellung bei der Telephon-Gesellschaft in Budapest.
- 1882 Entdeckung des Drehfeldes im budapester Stadtpark. Konzipierung des Wechselstrommotors.
- 1883 Außendienstarbeiten in Straßburg. Bau des ersten Induktionsmotors.
- 1884 6. Juni: Ankunft in Neuyork. Beschäftigung in Edisons Firma.
- 1885 Gründung der Tesla Electric Light Company. Anmeldung einiger Patente für Bogenlampen.
- 1886 Tesla verdingt sich ein Jahr lang als Tagelöhner.
- 1887 Gründung der Tesla Electric Company. Anmeldung verschiedener Patente für seinen Elektromotor.

- 1888 Mai: Veröffentlichung seiner Drehstrom-Patente: 16. Mai: Vortrag vor der Institution of Electrical Engineers. Verkauf sämtlicher Drehstrom-Patente an Westinghouse.
- 1889 Tesla arbeitet für George Westinghouse in Pittsburgh. Rückkehr nach NeuYork. Anmeldung eines Patents für eine Hochfrequenz-Maschine.
- 1890 Ausgedehnte Experimente mit Hochfrequenz-Strömen. Entwicklung der Tesla-Spule und des Tesla-Transformators.
- 1891 20. Mai: Vortrag vor dem American Institute of Electrical Engineers über Hochfrequenzströme und deren Anwendung auf die künstliche Beleuchtung.
- 1892 Februar: Tesla hält Vorträge in London. Teslas Mutter stirbt.
- 1893 Vorträge in Philadelphia und St. Louis. Grundprinzipien der Radiotechnik.
- 1895 Teslas Laboratorium wird bei einem Brand völlig zerstört.
- 1896 Umfangreiche Versuche mit Röntgen-Strahlen.
- 1897 Fertigstellung seines ferngesteuerten Bootes. Erste drahtlose Energie-Übertragung über eine Entfernung von 40 Kilometer.
- 1898 Versuche mit elektro-mechanischen Oszillatoren. Tesla stellt sein ferngesteuertes Boot und eine Anlage zur drahtlosen Nachrichtenübermittlung öffentlich vor.
- 1899 Tesla verlegt sein Laboratorium nach Colorado Springs. Entwicklung des „Verstärkenden Senders“.
- 1902 Tesla geht nach Wardencllyffe auf Long Island (NeuYork). Bau einer Sendeanlage zur drahtlosen Energie-Übertragung.
- 1905 Die Anlage auf Wardencllyffe muß vor ihrer Fertigstellung aus Geldmangel geschlossen werden.
- 1906 Entwicklung der Tesla-Turbine.
- 1910 Tesla baut eine Turbine mit einer Leistung von 300 PS. Teslas Freund Samuel Clemens (Mark Twain) stirbt.

- 1916 Anmeldung verschiedener Patente (Frequenzmesser, Tachometer, usw.)
- 1917 Tesla erhält die Edison-Medaille des American Institute of Electrical Engineers.
- 1922 Tesla muß sein Laboratorium aus finanziellen Gründen schließen.
- 1936 Tesla erhält von der jugoslawischen Regierung eine jährliche Rente von 7200 Dollar.
- 1937 Bei einem Autounfall wird Tesla schwer verletzt.
- 1943 7. Januar: Tesla stirbt im Alter von 86 Jahren im Hotel „New Yorker“.
-
- 1956 Anlässlich seines hundertsten Geburtstages wird die SI-Einheit der magnetischen Induktion nach Tesla benannt. ($1 \text{ T[esla]} = \text{Flächendichte eines homogenen magnetischen Flusses vom Betrage } 1 \text{ Wb [Weber], der eine Fläche von } 1 \text{ m}^2 \text{ überall senkrecht durchsetzt.}$
- Eröffnung des Tesla-Museums in Belgrad. (Dort wird seit 1957 die Asche Teslas aufbewahrt.)
- 1984 Veranstaltung des Centennial Tesla Symposiums (später zweijährlich das International Tesla Symposium) in Colorado Springs.

Inhaltsverzeichnis

Über Licht- und andere Erscheinungen hoher Frequenz.

Einleitung. — Einige Betrachtungen über das Auge.....	5
Über die Apparate und die Methode der Umwandlung.....	15
Über die durch elektrostatische Kraft erzeugten Erscheinungen. . . .	32
Über Erscheinungen strömender oder dynamischer Elektrizität. . . .	43
Impedanzerscheinungen.....	54
Über elektrische Resonanz.....	57
Über die durch Ströme hoher Frequenz und hoher Spannung erzeugten Lichterscheinungen und allgemeine Bemerkungen über den Gegenstand.....	67

Anhang.

Zeittafel zu Nikola Tesla.....	93
--------------------------------	----

Band 1:

Nikola Tesla: Meine Erfindungen — eine Autobiographie.
ISBN 3-908245-11 -7 100 S. Gh. DM/SFr. 25,00

Band 2:

Nikola Tesla: Versuche mit Wechselströmen von sehr hoher Frequenz und
deren Anwendung auf Methoden der künstlichen Beleuchtung.
ISBN: 3-908245-12-5 72 S. Gh. DM/SFr. 18,00

Band 3:

Nikola Tesla: Versuche mit Wechselströmen von hoher Spannung und hoher
Frequenz.
ISBN: 3-908245-13-3 108 S. Kt. DM/SFr. 27,00

Band 4:

Nikola Tesla: Über Licht- und andere Erscheinungen hoher Frequenz.
ISBN: 3-908245-14-1 96 S. Kt. DM/SFr. 26,00

Band 5:

Nikola Tesla: The Problem of Increasing Human Energy — Das Problem der
Steigerung der menschlichen Energie (engl./dt.)
ISBN: 3-908245 15-X ca. 100 S. (erscheint im August 1997)

Die Reihe wird fortgesetzt.

Titel erscheint demnächst.

Änderungen von Preis und Ausstattung jederzeit vorbehalten.

Bestellungen sind an jede Buchhandlung zu richten oder direkt an:

Sternthaler-Verlag D. Fedeli

Bestell-Abteilung

Postfach 630

CM — 4003 Basel

Fax: (061) 302 14 18

ISBN 3-908245-14-1